

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicación

# DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

E.T.S. de Ingeniería Industrial,



Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado

Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

Pedro María Villanueva Roldán

Pamplona, 15 de junio de 2018



## INFORMACIÓN DEL PROYECTO

TÍTULO: Diseño de carrusel inclusivo.

- CÓDIGO DEL PROYECTO: 06018
- CLIENTE Y PROMOTOR: Ayuntamiento de Pamplona.

Dirección: Plaza Consistorial, s/n 31001 – Pamplona (Navarra).

Teléfono: 948 420 100

Correo Electrónico: [pamplona@pamplona.es](mailto:pamplona@pamplona.es)

- EMPLAZAMIENTO: Pamplona.
- PROYECTISTA: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez
- TUTOR/DIRECTOR TFE: Pedro María Villanueva Roldán

Titulación: Ingeniería Mecánica por la Universidad Pública de Navarra

Escuela: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación

## RESUMEN

El presente proyecto es el Trabajo Fin de Grado realizado por el proyectista para optar al graduado en Ingeniería Mecánica por la Universidad Pública de Navarra.

El objetivo de este trabajo es el diseño completo de un carrusel inclusivo teniendo en cuenta los principios del Diseño Universal. Este área recreativa pretenderá favorecer la inclusión social, creando un espacio en el que niños de diferentes edades, con diferentes discapacidades y sin ellas, puedan jugar conjuntamente.

El proyecto se presentará en un único documento. La realización del proyecto pasará por diferentes etapas: se usarán las metodologías estudiadas en la asignatura *Ingeniería de Diseño (Análisis Funcional, Despliegue de la Función Calidad, Análisis Modal de Fallos y Efectos, etc.)*; se realizará el *Diseño Conceptual y Preliminar*, en los cuales se utilizarán diferentes métodos de selección de alternativas y se realizarán los cálculos pertinentes para cada componente; se abordará el *Diseño en Detalle* profundizando en aspectos de menos relevancia funcional y presentando la relación de planos necesarios para la fabricación y montaje; se realizará un presupuesto aproximado en el que se tendrá en cuenta la mano de obra, el coste de materiales, fabricación, etc.; se adjuntarán los informes de los ensayos de fuerzas realizados durante el proyecto y por último, se realizará una conclusión y crítica del trabajo realizado.



## ÍNDICE

0. OBJETIVO / GENERALIDADES .....	6
1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO UNIVERSAL .....	6
1.1. Principios del Diseño Universal .....	7
1.2. Jerarquía de necesidades .....	12
2. ANÁLISIS PRIMER DISEÑO DE CUMPLIMIENTO INCLUSIVO .....	14
2.1. Componentes .....	16
2.1.1. Estructura .....	16
2.1.2. Anclaje giratorio .....	16
2.1.3. Asiento .....	17
3. FUNCIONES Y REQUISITOS PRINCIPALES.....	18
3.1. Funciones .....	18
3.1.1. Funciones técnicas .....	18
3.1.2. Funciones de uso.....	18
3.1.3. Funciones de seguridad.....	18
3.2. Requisitos.....	19
3.2.1. Requisitos técnicos.....	19
3.2.2. Requisitos ergonómicos .....	19
3.2.3. Requisitos de uso .....	19
4. FICHA DE PROGRAMA .....	20
4.1. El objetivo del nivel de calidad.....	20
4.2. La lista de invariantes.....	20
5. ANÁLISIS FUNCIONAL .....	21
5.1. Método RED .....	21
5.1.1. Búsqueda intuitiva.....	21
5.1.2. Estudio del ciclo vital y del entorno .....	22
5.1.3. Análisis Secuencial de los Elementos Funcionales (SAFE) .....	25
5.1.4. Examen de movimientos y esfuerzos.....	27
5.1.5. Análisis de productos de referencia .....	28
5.1.6. Uso de Normas y Reglamentos .....	30
5.2. Método FAST .....	32
5.3. Pliego de Condiciones Funcional.....	34
6. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD .....	36
6.1. QFD 1.....	36
6.1.1. Expectativas del usuario.....	37



6.1.2.	Parámetros técnicos de diseño .....	39
6.1.3.	Conclusiones.....	41
6.2.	QFD 2.....	43
6.2.1.	Componentes de diseño.....	43
6.2.2.	Conclusiones.....	45
7.	DISEÑO CONCEPTUAL .....	46
7.1.	Generación de soluciones .....	46
7.1.1.	Estructura .....	46
7.1.2.	Asiento .....	50
7.1.3.	Sistema de giro .....	53
7.1.4.	Accionamiento .....	54
7.2.	Selección de alternativas individuales .....	57
7.3.	Selección de alternativas combinadas .....	60
8.	ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE).....	63
8.1.	Estructura completa .....	64
8.2.	Asiento .....	65
8.3.	Plataforma.....	66
8.4.	Sistema de giro .....	67
8.5.	Conclusiones.....	68
9.	DISEÑO PRELIMINAR .....	70
9.1.	Consideraciones generales.....	70
9.2.	Asiento .....	70
9.2.1.	Diseño Inicial .....	72
9.2.2.	Unión entre componentes .....	77
9.2.3.	Elección de materiales .....	80
9.2.4.	Ensayo de fuerzas inicial.....	82
9.2.5.	Diseño Final .....	85
9.3.	Estructura .....	88
9.3.1.	Diseño Inicial .....	88
9.3.2.	Elección de materiales .....	92
9.3.3.	Cálculo Cubierta: Carga de Nieve .....	94
9.3.4.	Cálculo Estructura: Peso Usuarios.....	98
9.3.5.	Cimentación .....	101
9.4.	Sistema de giro .....	103
9.4.1.	Selección del rodamiento.....	103
9.4.2.	Diseño de componentes.....	105





9.4.3.	Elección de materiales .....	106
9.4.4.	Diseño y Cálculos Eje-Base Giratoria .....	108
9.4.5.	Análisis a fatiga Base Giratoria .....	115
9.5.	Plataforma .....	120
9.6.	Elementos de accionamiento .....	121
9.6.1.	Asa .....	121
9.6.2.	Volantes .....	121
10.	DISEÑO EN DETALLE .....	123
10.1.	Asignación de colores .....	123
10.2.	Incorporación de elementos recreativos inclusivos .....	124
10.3.	PLANOS .....	126
11.	PRESUPUESTO .....	157
12.	INFORMES DE ENSAYOS .....	160
12.1.	Análisis Conjunto Estructura .....	160
12.2.	Análisis Cubierta Carga de Nieve .....	169
12.3.	Análisis Carcasa Sistema de Giro .....	177
12.4.	Análisis Soporte de rodamiento .....	186
12.5.	Análisis Base Giratoria .....	195
12.6.	Análisis para Diseño Inicial del Asiento .....	204
12.7.	Análisis para Diseño Final del Asiento .....	211
13.	CONCLUSIONES Y CRÍTICA .....	219
14.	BIBLIOGRAFÍA .....	220



## 0. OBJETIVO / GENERALIDADES

El objetivo del presente proyecto es realizar la mejora en el diseño de un **columpio inclusivo**, trabajo realizado en la asignatura de Oficina Técnica del séptimo semestre del Grado en Ingeniería Mecánica por la Universidad Pública de Navarra. Para ello se realizará una explicación previa sobre el funcionamiento del columpio, componentes y materiales, así como un análisis de fallos y deficiencias con el fin de lograr un mejor diseño. Cabe destacar que el diseño podrá derivar en un área recreativa diferente de un columpio, ya sea un tiovivo, un carrusel, etc.

El objetivo del diseño de este columpio inclusivo es lograr que tanto niños discapacitados como no discapacitados puedan jugar juntos en un mismo columpio, eliminando sus diferencias y favoreciendo la **inclusión social**. Con el fin de aclarar este concepto se realizará un apartado titulado "*Introducción al Diseño Universal*" en el cuál se explicará la necesidad a nivel urbanístico e industrial del Diseño Universal o Inclusivo.

## 1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO UNIVERSAL

El **Diseño Universal** es un enfoque relativo al diseño el cual aumenta el potencial para lograr una calidad de vida superior para una amplia gama de individuos. Este proceso de diseño permite a una población diversa mejorar su rendimiento humano, salud y participación social [1].

Este término comenzó a utilizarse a finales de los años ochenta, cuando Ron L. Mace, arquitecto americano y usuario de silla de ruedas definió el concepto *Universal Design* de la siguiente manera:

*"Diseño Universal es el diseño de productos y ambientes que pueden ser utilizados por el mayor número de personas posible, **sin necesidad de adaptaciones o diseños especiales.**" [2]*

Los sectores industrial y urbanístico están muy alejados de esta filosofía, excluyendo totalmente a personas con discapacidades físicas en los procesos de diseño para crear a posteriori adaptaciones especiales costosas y discriminatorias.

A lo largo de la historia existen ejemplos que confirman que el diseño para personas con capacidades especiales acaban siendo útiles para el resto de personas. Los pictogramas, creados para personas con autismo, terminaron siendo utilizados por toda la sociedad, o las rampas de acceso, cuya instalación generalmente está enfocada al uso de usuarios de silla de ruedas, acaba siendo utilizada por personas sin discapacidad. La facilidad de uso, uno de los principios del diseño universal, y el poco esfuerzo requerido, son fundamentos que acaban por imponerse ante cualquier diseño innovador y útil pero difícil de usar.

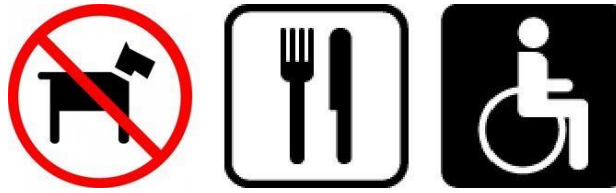


Ilustración 1. Pictogramas utilizados habitualmente. Fuente: Google Imágenes.



Ilustración 2. Rampa en Londres ejemplo de buen diseño universal. Fuente: <http://www.hilvan.es/accesibilidad>

### 1.1. Principios del Diseño Universal

Se explicará a continuación los siete principios del Diseño Universal, que junto con otros aspectos como el coste o la cultura permitirán llevar a cabo un diseño que englobe a la mayor variedad de usuarios posible. Estos principios fueron recogidos el 1 de abril de 1997 por el Centro para el Diseño Universal (NC State University, The Center for Universal Design, an initiative of the College of Design) [3].

- Principio 1 **USO EQUITATIVO:** El diseño es útil y adecuado para personas con diversas capacidades.
  - 1a.** Proporcionar las mismas maneras de uso para todos los usuarios: idénticas cuando es posible, equivalentes cuando no lo es.
  - 1b.** Evitar segregar o estigmatizar a cualquier usuario.
  - 1c.** Las características de privacidad, garantía y seguridad deben estar igualmente disponibles para todos los usuarios.
  - 1d.** Que el diseño sea atractivo para todos los usuarios.

Ejemplo: La apertura de puertas automáticas conviene a todos los usuarios, bien estos usen una silla de ruedas o lleven las manos ocupadas.



*Ilustración 3. Puertas automáticas como ejemplo de uso equitativo. Fuente: [3]*

- Principio 2 **USO FLEXIBLE**: El diseño debe incorporar un amplio rango de preferencias y capacidades individuales.
  - 2a. Ofrecer posibilidades de elección en los métodos de uso.
  - 2b. Que se pueda acceder y usar tanto con la mano derecha como con la izquierda.
  - 2c. Facilitar al usuario la exactitud y precisión.
  - 2d. Que se adapte al paso o ritmo del usuario.

Ejemplo: Tijeras diseñadas para usuarios diestros y zurdos.

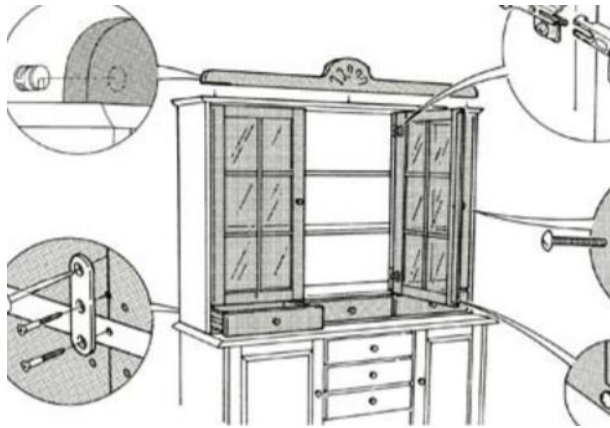


*Ilustración 4. Tijeras como ejemplo de uso flexible. Fuente: [3]*

- Principio 3 **USO SIMPLE E INTUITIVO**: El uso del producto o entorno debe ser de fácil comprensión, sin importar la experiencia del usuario, el nivel de conocimientos, la habilidad en el lenguaje o el nivel de concentración al momento del uso.
  - 3a. Eliminar la complejidad innecesaria.
  - 3b. Que sea consistente con las expectativas e intuición del usuario.
  - 3c. Que se acomode a un amplio rango de alfabetización y habilidades lingüísticas.
  - 3d. Que dispense la información de manera consistente con su importancia.

**3e.** Proporcionar avisos eficaces y métodos de respuesta durante y tras la finalización de la tarea.

Ejemplo: Un manual de instrucciones en el cuál se representes las acciones mediante imágenes y no texto.



*Ilustración 5. Manual de instrucciones como ejemplo de uso simple e intuitivo. Fuente: [3]*

- Principio 4 **INFORMACIÓN PERCEPTIBLE:** El diseño debe comunicar la información necesaria con eficacia al usuario, sin importar las condiciones ambientales o las capacidades sensoriales del usuario.

**4a.** Usar diferentes modos (visual, auditivos, táctil) para una presentación redundante de la información esencial.

**4b.** Proveer un adecuado contraste entre la información esencial y la adicional.

**4c.** Ampliar la legibilidad de la información esencial.

**4d.** Diferenciar los elementos de forma que puedan ser descritos fácilmente, y así sea más fácil poder dar instrucciones o direcciones sobre ellos.

**4e.** Proveer compatibilidad con la variedad de técnicas o dispositivos usados por las personas con discapacidades sensoriales.

Ejemplo: Señales e instrucciones táctiles, visuales y auditivas en un termostato.



Ilustración 6. Termostato con señales táctiles, visuales y auditivas como ejemplo de la información perceptible.

Fuente: [3]

- Principio 5 **TOLERANCIA AL ERROR**: El diseño debe minimizar los peligros y consecuencias adversas ante acciones accidentales o inintencionadas. Hay que considerar la posibilidad de que las personas usuarias se equivoquen o utilicen el producto para un fin no previsto; este mal uso no ha de provocar consecuencias graves.

**5a.** Disponer los elementos para minimizar peligros y errores: los elementos más usados, deben ser más accesibles; los elementos peligrosos deben ser eliminados, aislados o blindados.

**5b.** Proporcionar advertencias sobre peligros y errores.

**5c.** Proveer salidas e interruptores con características seguras.

**5d.** Desalentar las acciones inconscientes en tareas que requieren vigilancia.

Ejemplo: La opción “Deshacer” en softwares informáticos que permiten corregir errores sin consecuencias negativas.



Ilustración 7. Opción "Deshacer" como ejemplo de tolerancia al error. Fuente: [3]

- Principio 6 **BAJO ESFUERZO FÍSICO**: El diseño debe ser usado eficiente y confortablemente con un mínimo de esfuerzo o fatiga.

**6a.** Permitir al usuario mantener una posición neutral de su cuerpo.

**6b.** Utilizar fuerzas de accionamiento o funcionamiento razonables.

**6c.** Minimizar las acciones repetitivas.

**6d.** Minimizar los esfuerzos físicos continuados.

Ejemplo: Manillas de palanca en las puertas en lugar de pomos redondos.



*Ilustración 8. Manilla de palanca como ejemplo del bajo esfuerzo físico. Fuente: [3]*

- Principio 7 **TAMAÑO Y ESPACIO PARA EL ACCESO Y EL USO**: Debe proporcionarse el tamaño y espacio apropiados para el acceso, el alcance, la manipulación, y el uso sin importar el tamaño de cuerpo de usuario, su postura, o su movilidad.

**7a.** Proporcionar una línea de visión limpia de los elementos importantes para cualquier usuario que este sentado o de pie.

**7b.** Permitir un alcance cómodo a todos los componentes para cualquier usuario sentado o de pie.

**7c.** Que se adapte a variaciones en los agarres para diferentes tamaños de manos.

**7d.** Proveer el espacio adecuado para dispositivos de ayuda o asistencia personal.

Ejemplo: Entradas anchas en las estaciones de metro para que cualquier persona pueda pasar sin dificultad.

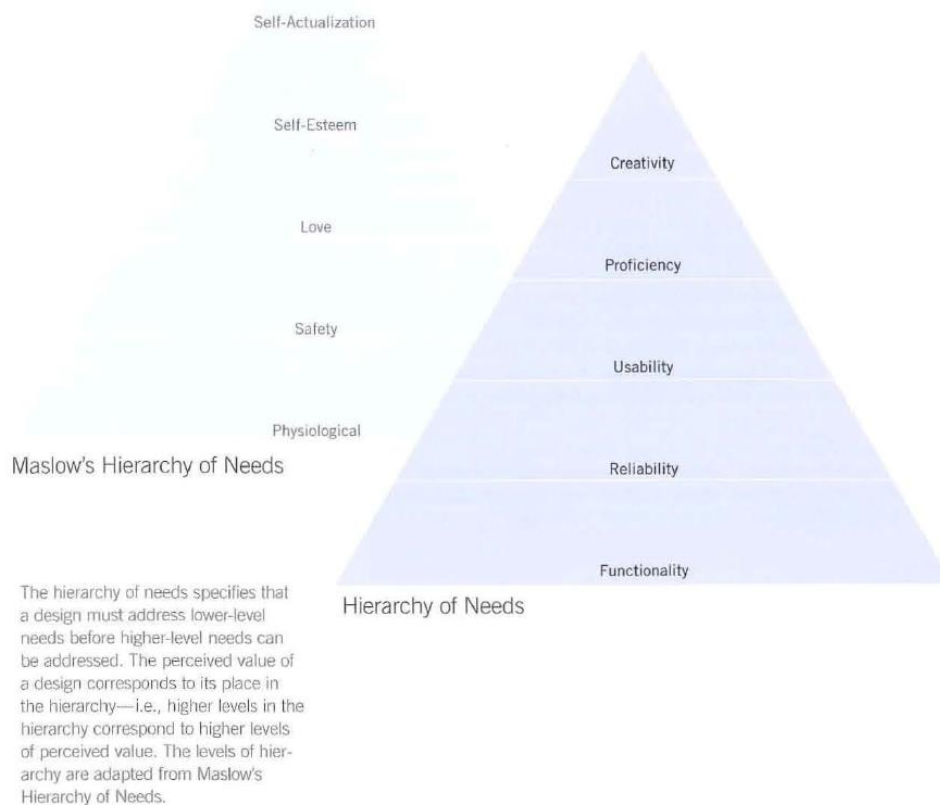




*Ilustración 9. Acceso a estación de metro como ejemplo del tamaño y espacio para acceso y uso. Fuente: [3]*

## 1.2. Jerarquía de necesidades

Para que cualquier diseño sea exitoso éste deberá cubrir las necesidades básicas de su usuario antes de satisfacer otras necesidades superiores. Esta concepción jerárquica del diseño está basada en la pirámide de necesidades de Maslow. [4]



*Ilustración 10. Jerarquía de necesidades del diseño. Fuente: [4]*





- **Funcionalidad:** Identificar las necesidades básicas funcionales del usuario y anteponer estos requisitos a los posteriores.
- **Confiabilidad:** El diseño deberá asegurar el buen funcionamiento del producto.
- **Usabilidad:** El diseño deberá proporcionar un uso fácil en la medida de lo posible.
- **Aumento de la habilidad:** El diseño deberá ser capaz de mejorar la capacidad del usuario de realizar una tarea respecto de lo que podía anteriormente del uso del producto.
- **Creatividad:** Es el nivel en el que todas las necesidades anteriores deben estar cubiertas y el diseñador se puede permitir innovar y explorar nuevas áreas relacionadas con su producto.

Para la realización de la mejora del columpio inclusivo, el proyectista replanteará el proceso de diseño a seguir teniendo en cuenta tanto los **principios del Diseño Universal** como la **jerarquía de necesidades** para rediseñar los componentes del columpio.

## 2. ANÁLISIS PRIMER DISEÑO DE COLUMPIO INCLUSIVO

En este apartado se pretende hacer un análisis del diseño obtenido en el trabajo realizado en la asignatura de Oficina Técnica del séptimo semestre del Grado en Ingeniería Mecánica: *Diseño de Columpio Inclusivo*.

Se explicarán los diferentes componentes del columpio, su objetivo dentro del marco de necesidades del proyecto y se realizará un análisis de fallos y deficiencias de cada componente con el objetivo de subsanarlas en el presente proyecto.

El diseño fue seleccionado realizando una selección multicriterio entre tres alternativas. Los criterios tuvieron diferente ponderación y fueron los siguientes, ordenados de mayor a menor importancia: *Inclusión, Presupuesto, Seguridad, Estética, Independencia*.

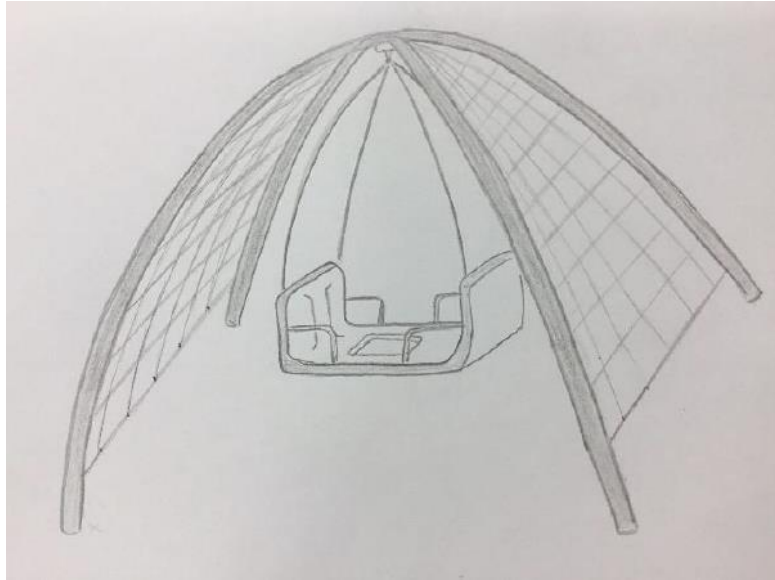
El primer error detectado en el diseño es la ponderación de los criterios, ya que se le da más valor a la estética que a la independencia del usuario, siendo éste último uno de los requisitos que deberá cumplir el diseño. El proyectista, en el caso de realizar futuras selecciones multicriterio, priorizará los criterios de *Inclusión* e *Independencia*.

El diseño realizado es un **columpio de doble asiento giratorio con un punto de suspensión**. El diseño está basado en los **columpios vestibulares** utilizados en terapias para niños con problemas en el sistema auditivo, lo que conlleva problemas psicomotrices, de orientación y de equilibrio.



Ilustración 11. Ejemplo de columpio vestibular destinado a la integración sensorial. Fuente: *tandem.net*

Además, existen unas redes/barras en la estructura para que niños sin discapacidad puedan trepar, lo que fomentaría la inclusión social. A continuación se exponen dos imágenes, una con el boceto preliminar y otra con el diseño final realizado en *SolidWorks*.



*Ilustración 12. Boceto del diseño realizado para el columpio inclusivo. Fuente: Propia.*



*Ilustración 13. Diseño final para columpio inclusivo. Fuente: Propia.*

## 2.1. Componentes

A continuación, se explicará cada componente por separado, explicando su función y cuáles son las principales deficiencias en su diseño.

### 2.1.1. Estructura

Este componente es el encargado de sujetar el asiento colgante y resistir el peso de los usuarios. Cuenta con una cubierta de metacrilato para proteger al columpio de condiciones meteorológicas adversas así como con unas barras horizontales que permiten el trepado.

La estructura principal consta de cuatro barras de acero inoxidable que se unen en un soporte central. Los **principales inconvenientes** relativos a la estructura son los siguientes:

- Excesiva altura de la estructura aumentando su peligrosidad en caso de mal uso.
- Soporte central de los tubos demasiado pesado.

### 2.1.2. Anclaje giratorio

El anclaje giratorio es el componente que une las barras que sujetan el asiento con la estructura y que aporta la capacidad de rotación al columpio. Para diseñar este componente se incluyó un rodamiento. El objetivo de este elemento fue que el accionamiento por parte de una persona con movilidad reducida no supusiera ningún esfuerzo, sin embargo, esto podría resultar contraproducente para la funcionalidad del columpio.

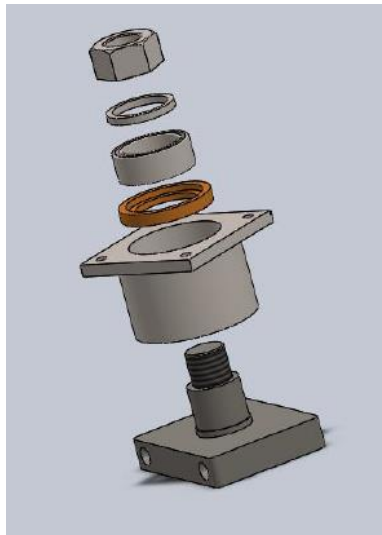


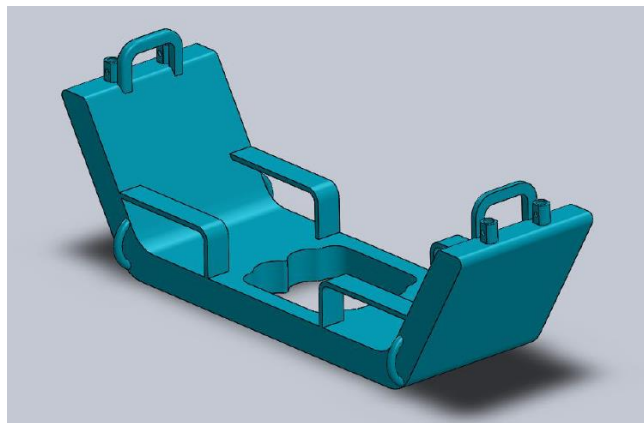
Ilustración 14. Vista explosionada del anclaje giratorio. Fuente: Propia.

Las **principales deficiencias** de este componente son las siguientes:

- Complejidad excesiva del anclaje para proporcionar una simple rotación.
- El rodamiento facilitará el giro pero esto podría suponer riesgos a la hora de accionar el columpio por la facilidad de accionamiento de éste.
- El rodamiento puede ocasionar un giro incontrolado cuando exista poco peso en el asiento.

### 2.1.3. Asiento

El asiento tiene la finalidad de albergar dos personas/niños al mismo tiempo para promover la inclusión. Cuenta con una abertura central para las piernas, y el respaldo se encuentra levemente inclinado para usuarios con movilidad reducida. Además cuenta con dos reposabrazos en cada asiento y con cuatro manillas para que el columpio pueda ser accionado sin dificultad.



*Ilustración 15. Vista del asiento. Fuente: Propia.*

Los **principales inconvenientes** en el diseño de este componente son:

- Componente muy pesado al tratarse de polietileno.
- Dificultad en la fabricación.
- Los reposabrazos dificultan la incorporación de personas discapacitadas.
- Posible incomodidad.



### 3. FUNCIONES Y REQUISITOS PRINCIPALES

Se realizará a continuación una identificación de las funciones principales que deberá cumplir el producto con el objetivo de satisfacer al usuario del columpio. Se listarán las **funciones principales**, es decir, aquellas que deberán estar en el columpio de manera obligada.

Además se considerarán los **requisitos principales**, que son aquellos condicionantes que debe cumplir el producto para poder llevar a cabo las funciones principales.

#### 3.1. Funciones

##### 3.1.1. Funciones técnicas

- El asiento del columpio debe ser ligero para poder ser accionado por niños o personas con movilidad reducida.
- Debe permitir el **uso conjunto** de niños/personas discapacitadas con niños no discapacitados en favor de la inclusión, además del accionamiento por parte de padres discapacitados.
- El uso y accionamiento del columpio debe garantizar la **mayor independencia posible** por parte de las personas discapacitadas.
- Debe tratarse de un columpio resistente para minimizar en lo posible las consecuencias del vandalismo así como condiciones meteorológicas adversas.

##### 3.1.2. Funciones de uso

- El uso del columpio debe derivar en la **diversión**.
- La **utilización** del columpio debe ser **simple e intuitiva**.

##### 3.1.3. Funciones de seguridad

- La utilización del columpio no puede entrañar riesgo alguno para el usuario.
- Ningún componente del columpio debe ocasionar daños en el usuario ni en las personas que se encuentren en las proximidades.



### 3.2. Requisitos

#### 3.2.1. Requisitos técnicos

- Selección de materiales ligeros para permitir el fácil accionamiento.
- La estructura debe proteger al propio columpio de las condiciones meteorológicas.
- Selección de materiales sostenibles en la medida de lo posible.

#### 3.2.2. Requisitos ergonómicos

- El asiento debe poder albergar niños de un amplio rango de edades.
- Se debe tener en cuenta la ergonomía del asiento para personas con movilidad reducida que no puedan mantener su espalda recta.

#### 3.2.3. Requisitos de uso

- Se deberán lubricar los posibles componentes móviles del columpio periódicamente.

Este apartado servirá al proyectista como hoja de ruta para los próximos apartados en el proceso de diseño. Se trata de un acercamiento previo a las funciones esenciales que debe cumplir el columpio y de esta manera no olvidar ninguna de ellas. Además, el proyectista deberá identificar los requisitos relacionados con la funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, etc. y anteponer unos a otros para cumplir la jerarquía de necesidades del diseño.



## 4. FICHA DE PROGRAMA

La ficha de programa pretende definir los objetivos y pautas a seguir durante el proceso de desarrollo del producto. Se realiza de manera previa al análisis funcional para fijar las estrategias a seguir con el fin de conseguir un nivel de calidad óptimo, un coste no muy elevado y que las prestaciones del producto permitan cumplir los requisitos principales.

### 4.1. El objetivo del nivel de calidad

Se debe recordar que el objetivo principal del columpio es fomentar la **inclusión social**, es decir, que niños discapacitados y no discapacitados puedan **jugar conjuntamente**. Por lo tanto, la calidad en el columpio vendrá dada por el grado de inclusión que genere. Además la inclusión también tiene que ver con la **independencia** de las personas discapacitadas, es decir, que no necesiten de ninguna persona que les ayude a la hora de usar el columpio.

El proyectista para conseguir la calidad en el producto, deberá integrar estos dos aspectos de la manera más homogénea posible, el cual es el principal reto de este diseño.

Por otro lado, para conseguir los niveles de confiabilidad necesarios el proyecto deberá ajustarse a la normativa vigente. Este hecho también proporcionará calidad al producto y sobre todo seguridad y fiabilidad. Las normas que serán de utilidad para el presente proyecto serán: *UNE-EN 1176-1 Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo*, *UNE-EN 1176-2 Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para columpios*, *UNE-EN 1176-7 Guía para la instalación, inspección, mantenimiento y utilización*, *UNE-EN 1177 Revestimientos de las superficies las áreas de juegos absorbedoras de impactos* y *UNE – EN 1176 – 5 Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para carruseles*.

### 4.2. La lista de invariantes

Cabe destacar que el proyecto parte de un trabajo anterior, y su objetivo es la mejora en el diseño del columpio. Por lo tanto, el proyectista no debe cambiar la idea principal del funcionamiento del columpio ya que esto podría complicar el proceso de diseño.

Se deben centrar los esfuerzos en modificar los componentes del columpio, su forma, su material y su funcionalidad, para conseguir un diseño acorde con los principios del Diseño Universal y que además, satisfaga todos los requisitos y funciones esenciales teniendo en cuenta la jerarquía de necesidades del diseño. De esta manera, **se mantendrá el requisito** de que el área recreativa a diseñar deberá basarse en la **rotación respecto de un eje**.





## 5. ANÁLISIS FUNCIONAL

Este apartado tiene el objetivo de recopilar de forma exhaustiva las funciones a cumplir. Además de las funciones y requisitos principales ya citados, existen otras funciones no tan evidentes relacionadas con el ciclo de vida del producto, el entorno en el que se encuentra, los esfuerzos que debe soportar, las normas a las que se debe atener o la secuencia de interacciones entre usuario y producto. El análisis en profundidad de todos aspectos permitirá descubrir nuevas funciones que de otra manera podrían haber pasado desapercibidas.

Para realizar este análisis se llevarán a cabo dos métodos: el método **RED** y el método **FAST**. El objetivo último de este apartado es elaborar el **Pliego de Condiciones Funcional** (PCF) y evitar la omisión de funciones del producto en su fase de diseño. Además el proyectista durante la realización del PCF tendrá en cuenta la jerarquización de necesidades y los principios del Diseño Universal, otorgando mayor importancia a unas funciones que a otras.

### 5.1. Método RED

El método RED sirve para identificar y recoger las funciones a cumplir por el producto para que resulte adecuado a las necesidades del usuario y evitar diseñar un producto de calidad aparente. La calidad viene dada por el cumplimiento de los requerimientos funcionales que a su vez cubrirán las necesidades del usuario. Identificar estos requerimientos apropiadamente es el objetivo de este apartado.

Para lograr los resultados adecuados se deben llevar a cabo las siguientes fases:

1. Búsqueda intuitiva.
2. Estudio del ciclo vital y del entorno.
3. Análisis Secuencial de Elementos Funcionales (SAFE).
4. Examen de los movimientos y de las fuerzas.
5. Análisis de productos de referencia.
6. Uso de las normas y reglamentos.

#### 5.1.1. Búsqueda intuitiva

En esta fase se pretende emplear la intuición para la obtención de ideas que proporcionen nuevas funciones al producto y que se añadirán al Pliego de Condiciones Funcional. Para conseguir resultados eficaces se seguirá el siguiente plan de trabajo:

##### ➤ Objetivos

Se examinará la ficha de programa así como el apartado de funciones y requisitos principales. Se pretende que para cada objetivo principal del producto surjan diferentes requerimientos funcionales relacionados con dicho objetivo.



1. Objetivo: **Inclusión social**, uso conjunto de niños discapacitados y no discapacitados.
  - El columpio debe garantizar la diversión.
  - Uso equitativo.
  - Uso y accionamiento sencillo. El mecanismo de giro no debe ser complejo.
  - Apariencia de columpio normal, todos los niños deben querer jugar en él sin importar su condición física ni psíquica.
  - Posibilidad de incorporar otros elementos aparte del columpio para favorecer el juego conjunto.
  - Asiento diseñado para todo tipo de personas o posibilidad de incorporar diferentes asientos para diferentes condiciones físicas.
2. Objetivo: **Independencia del usuario**, el columpio debe intentar que el usuario se valga por sí mismo en la medida del posible. Esto favorecerá que un usuario discapacitado no se sienta marginado.
  - Facilidad de acceso al columpio.
  - Bajo esfuerzo físico requerido.
3. Objetivo: **Seguridad del usuario**.
  - El giro del columpio no debe ser demasiado brusco ni rápido.
  - El uso del columpio no debe entrañar riesgo ni para el usuario ni para las personas que se encuentren alrededor.
  - Debe soportar el peso de los usuarios.
  - Minimizar daños por vandalismo.
4. Objetivo: **Diseño no discriminatorio**.
  - Estética atractiva. Debe llamar la atención al usuario.
  - Colores agradables.
  - No debe tener una estética de columpio para personas discapacitadas.
  - Se debe incorporar información perceptible para el usuario discapacitado.

#### 5.1.2. Estudio del ciclo vital y del entorno

##### ➤ **Ciclo vital**

Se trata de determinar las etapas de la vida del producto. El ciclo vital empieza con la validación del producto mediante un control de calidad y termina cuando el producto queda obsoleto.

De esta manera, se expondrán a continuación las etapas en el ciclo de vida y para las más importantes se realizará un análisis de los requerimientos necesarios inherentes al producto.



Además, cabe destacar que el producto no está diseñado para la fabricación en masa. Si no que se trata de un diseño específico para encargos puntuales por parte de ayuntamientos que pretendan incorporarlo en sus parques infantiles.

1. Encargo.
2. Fabricación: Todos los componentes diseñados deben poder ser fabricados.
3. Embalaje de los componentes más frágiles o importantes para el correcto funcionamiento del columpio.
4. Transporte: Los componentes deben resistir las vibraciones y golpes ocasionados durante el transporte.
5. Montaje:
  - Se requerirán operarios especializados los cuales serán informados de como llevar a cabo el montaje paso a paso.
  - Componentes del producto fácilmente indentificables.
6. Uso:
  - Fácil acceso y accionamiento.
  - Ergonómico.
  - Cómodo.
  - Seguro.
  - Divertido.
7. Mantenimiento periódico: Componentes resistentes a golpes para evitar reparaciones.
8. Desmontaje: Fácil desmontaje.
9. Eliminación:
  - Posibilidad de piezas reutilizables para futuros proyectos.
  - Materiales inocuos para el medio ambiente.
  - Materiales reciclables.

#### ➤ Entorno exterior

El conocimiento del entorno exterior al que se enfrentará el producto permitirá al proyectista tener en cuenta aspectos que pueden optimizar el diseño, reducir el mantenimiento e incluso alargar la vida útil del producto.

El entorno exterior en el que se encontrará el columpio será fijo y por lo tanto se verá afectado por elementos como:

- Lluvia.
- Nieve.
- Polvo.
- Seísmos.
- Viento.
- Radiación solar.

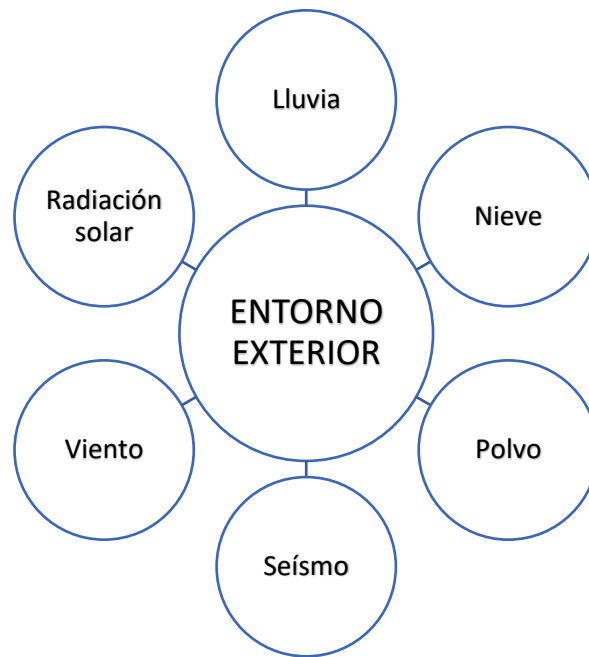


Gráfico 1. Factores externos a los que estará sometido el producto. Fuente: Propia.

De esta manera, teniendo en cuenta los principales elementos externos a los que está expuesto el producto podemos concretar algunos posibles requerimientos que ayuden a combatir los efectos negativos:

- Posibilidad de instalación de un elemento protector contra lluvia o nieve. A su vez este elemento deberá ser resistente ante la posible acumulación de nieve.
- Los componentes de la estructura deberán poder absorber las solicitaciones causadas por el viento y seísmos.
- Se deberán escoger materiales adecuados para evitar la oxidación de los componentes.

#### ➤ Entorno interior

Se habla de entorno interior como los agentes o elementos que afectan al producto teniendo una interacción con él. De esta manera, el entorno interior al que estará expuesto el columpio serán las personas. Sin embargo, existen diferentes interacciones entre el columpio y las personas, las cuáles podrán generar diferentes requerimientos funcionales. Las interacciones más significativas son las siguientes:

- Transporte del columpio.
- Mantenimiento del columpio.
- Uso ordinario.
- Mal uso previsto.
- Vandalismo.

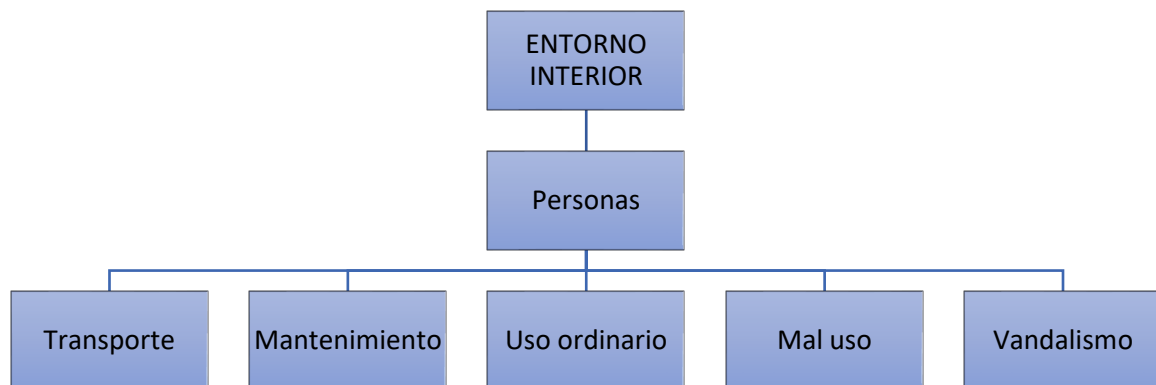


Gráfico 2. Factores internos a los que estará sometido el producto. Fuente: Propia.

Los requerimientos funcionales que debiera tener el columpio para minimizar los posibles daños causados por las personas son:

- Los componentes por separado deben ser lo suficientemente resistentes para evitar daños durante el transporte.
- El diseño de montaje debe ser a prueba de errores en la medida de lo posible.
- El peso a soportar por el columpio debe estar calculado mediante un factor de seguridad alto para reducir la posibilidad de rotura de componentes en caso de mal uso.
- Evitar materiales inflamables en la medida de lo posible para minimizar los efectos de vandalismo.
- Evitar componentes que puedan desprenderse con facilidad.
- Uso de materiales que resistan golpes fuertes sin presentar daños que afecten a la funcionalidad.

#### 5.1.3. Análisis Secuencial de los Elementos Funcionales (SAFE)

El objetivo de este método es buscar posibles funciones de un producto por medio de su gama de operaciones o secuencias de su ciclo vital. A continuación se expondrán diferentes situaciones de uso para diferentes tipos de usuarios de manera que se puedan obtener posibles requerimientos funcionales que posteriormente se incluyan en el Pliego de Condiciones Funcional.

##### ➤ Situación 1: **Usuario en silla de ruedas**

1. Incorporación al columpio.



- El asiento cuenta con una ayuda para que el usuario por si mismo pase de la silla de ruedas al asiento del columpio. En este caso, la silla de ruedas no debe interferir con el funcionamiento del columpio. (*Posibilidad 1*)
- El propio columpio cuenta con un espacio para albergar la silla de ruedas y que esta gire conjuntamente con el columpio. (*Posibilidad 2*)
- En el momento de la incorporación el sistema de giro debe quedar bloqueado para evitar riesgos.

## 2. Accionamiento del columpio.

- El accionamiento del columpio podría realizarlo el propio usuario desde el columpio.
- El accionamiento del columpio podría realizarlo una persona externa para el caso en el que el usuario no tengo movilidad o fuerza suficiente en las extremidades superiores.

## 3. Giro del columpio.

- El giro del columpio no debe ser demasiado brusco.
- En el caso de que el usuario en silla de ruedas se haya incorporado al asiento del columpio éste debe estar sujeto de manera estricta y a la vez cómoda para evitar caídas. (*Posibilidad 1*)
- En el caso de que la silla de ruedas se incorpore en el columpio el giro no debe mover esta para minimizar riesgos. (*Posibilidad 2*)
- El giro del columpio no debe comprometer la seguridad de las personas que se encuentren alrededor.

## 4. Parada. Bajada del columpio.

- El giro puede ser bloqueado durante la bajada del usuario para evitar riesgos que produzcan daños.

### ➤ Situación 2: **Usuario con discapacidad psíquica**

#### 1. Incorporación al columpio.

- El usuario debe entender perfectamente el funcionamiento del columpio. Se pueden utilizar pictogramas o dibujos para representar por donde se sube al columpio.
- Ya que pueden existir usuarios de edad algo más avanzada que deseen usar el columpio el asiento debe ser capaz de albergar un amplio rango de edades.

#### 2. Accionamiento.

- En el caso en el que el accionamiento lo realice el propio usuario, este deberá ser lo más sencillo posible.

3. Giro.
4. Parada. Bajada.

- Puede existir un sistema de seguridad para que no se pueda producir la bajada del columpio mientras éste esté en funcionamiento.

Para la situación en que el usuario sea una persona o niño sin discapacidad, el proyectista considera que los requerimientos funcionales son equiparables a los dos casos expuestos anteriormente. A continuación, se expone un gráfico con todas las posibles funcionalidades del columpio según su secuencia de operaciones.

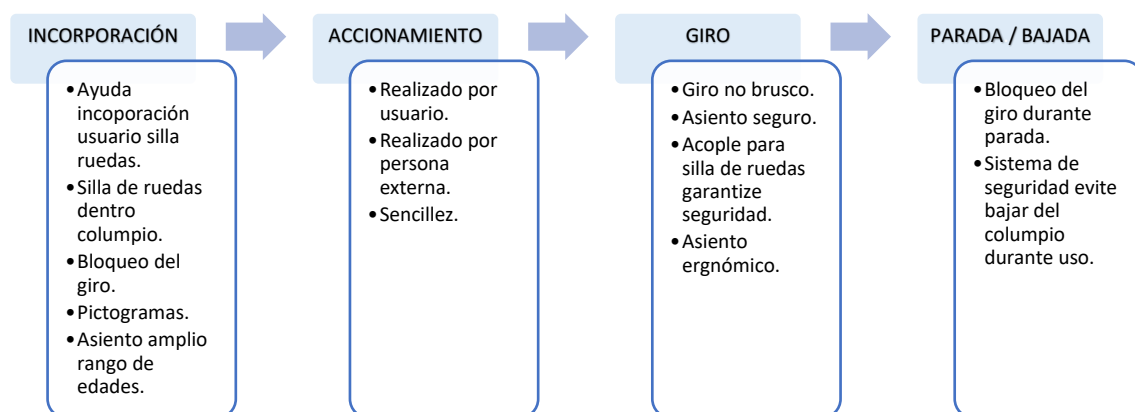


Gráfico 3. Posibles funcionalidades según gama de operaciones del producto. Fuente: Propia.

#### 5.1.4. Examen de movimientos y esfuerzos

En la siguiente fase se analizarán los diferentes movimientos que va a realizar el producto durante su uso, así como los esfuerzos a los que estará sometido. Esta etapa servirá de ayuda para concretar funciones técnicas relacionadas con la resistencia mecánica de los componentes.

##### ➤ Movimientos

El movimiento al que estará sometido el columpio y el cuál es un requerimiento impuesto por el proyectista (se encuentra en la lista de invariantes) será el movimiento giratorio sobre un eje.

La manera de girar del columpio todavía es pronto para concretarla pues dependerá de los diferentes diseños conceptuales que se realicen y de cual de ellos se elija. Puede ser que el asiento gire sobre su propio eje, bien gire sobre un eje central como en un tiovivo o una combinación de ambas. En un principio se puede decir que éste giro será el único movimiento en el funcionamiento del producto.

#### ➤ Esfuerzos

Las solicitaciones a las que puede estar sometido el producto son las siguientes:

- Fricción o rozamiento entre componentes debido al giro.
- El peso de los usuarios en el asiento/asientos del columpio.
- Posibles cargas por condiciones meteorológicas adversas, tanto en el propio columpio como en la posible estructura que se diseñe. En este caso se consultará el *Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación (DBSE – AE)*.
- Posibles esfuerzos en componentes debido a uso indebido.

#### 5.1.5. Análisis de productos de referencia

En la siguiente etapa del método RED se pretende analizar productos parecidos que se encuentren en el mercado y que ayuden al autor a generar nuevas ideas o bien detectar fallos o deficiencias con el fin de no incorporarlas en el futuro diseño.

- *Parques infantiles México Modelo DC-4A-2014*

Plataforma giratoria con capacidad para tres sillas de ruedas.



Ilustración 16. Plataforma giratoria DC-4A-2014. Fuente: [www.parquesinfantiles.mx](http://www.parquesinfantiles.mx)



El principal inconveniente de este diseño es el acceso para las personas en silla de ruedas. Como se aprecia en la imagen, la rampa de acceso tiene demasiada pendiente por lo que es necesaria una persona que ayude al usuario a incorporarse.

Además, el diseño es algo discriminatorio para las personas no discapacitadas. Podrían haberse incorporado unos asientos para que todas las personas se encontrarán a la misma altura.

Un punto a favor en este diseño es que el accionamiento de la plataforma la puede realizar el propio usuario en silla de ruedas.

- *Playdale Playgrounds Órbita Inclusiva*

Se trata de una plataforma giratoria a ras de suelo que incluye una pequeña tabla de madera que sirve como asiento.



Ilustración 17. Órbita inclusiva de Lurkoi. Fuente: [www.lurkoi.com](http://www.lurkoi.com)

Una deficiencia en este diseño es que el accionamiento debe realizarse realizando un impulso desde fuera de la plataforma por lo que un niño con capacidades diferentes no podría llevarlo a cabo.

La plataforma al encontrarse a ras de suelo elimina posibles riesgos de atrapamientos y tropiezos, facilitando la incorporación para niños en muletas o con movilidad reducida. Además, este columpio cuenta con el *Certificado DDA accesible para discapacitados*.

- *Playdale Playgrounds Columpio MegaSwing*

Formado por un pórtico de tres patas tubulares de acero, del que cuelga un columpio que balancea y gira de manera multidireccional.



Ilustración 18. Columpio MegaSwing. Fuente: [www.larkoi.com](http://www.larkoi.com)

La deficiencia más destacable de este diseño podría ser la seguridad de los usuarios que se encuentren en las cercanías del radio de acción del balancín, a pesar de que en cualquier parque infantil siempre existan riesgos.

Este columpio cuenta con el *Certificado DDA accesible para discapacitados*.

#### 5.1.6. Uso de Normas y Reglamentos

Se analizarán las diferentes normas relativas al diseño e instalación de parques infantiles. A pesar de nombrar al producto a diseñar como “columpio” quizás el diseño derive en algún otro tipo de área recreativa como carrusel, tiiovivo, etc. por lo que se incluirán diferentes normativas. Se citarán los aspectos relativos al diseño a realizar de cada una de las diferentes normativas.

- *UNE – EN 1176 – 2 Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para columpios* [5].

En el caso de que el diseño final sea un columpio colgado de un punto de suspensión se deberá tener en cuenta el apartado 4.3 *Espacio libre del asiento en columpios con un punto de suspensión (Tipo 3)*, el cual exige que el espacio entre el suelo y la parte inferior del columpio sea como mínimo 400 mm.

- *UNE – EN 1176 – 1 Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo* [6].

Según el apartado 4.2.5 *Acabado del equipo*, no deben sobresalir clavos ni debe haber componentes con bordes afilados o puntiagudos. Los pernos sobresalientes deben estar cubiertos permanentemente. Las tuercas y las cabezas de los pernos que sobresalgan menos de 8 mm no deben tener rebabas.

El apartado 4.2.10 *Uniones*, obliga a que las uniones estén aseguradas de forma que no puedan soltarse por sí mismas y además, deben estar protegidas de forma que no puedan soltarse sin ayuda de herramientas.

El apartado 4.2.14 *Cimentación*, obliga a que los elementos de fijación del equipo queden por lo menos a 400 mm por debajo de la superficie de juego.

- *UNE – EN 1177 Revestimientos de las superficies de las áreas de juego absorbedores de impactos* [7].

Según esta norma para alturas de caídas menores de 600 mm no será obligatorio disponer de un revestimiento más allá de las dimensiones del propio columpio ni obliga a la utilización de determinados materiales absorbedores de impactos. Sin embargo, será interesante la incorporación de un suelo de caucho para prevenir posibles lesiones.

- *UNE – EN 1176 – 5 Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para carruseles* [8].

Según el apartado 4.2 *Altura libre de caída y área de impacto*, la altura libre de caída no debe ser superior a 1000 mm en ningún punto. Además, el área de impacto alrededor del carrusel debe tener una altura crítica de caída de al menos 1000 mm.

Según el apartado 4.3 *Espacio mínimo/espacio de caída*, el espacio libre debe ser de 2000 mm a los lados del carrusel y 2000 mm por encima del carrusel.

Según el apartado 4.4 *Plazas de usuario*, las plazas de usuarios para carruseles tipo A que dispongan de asientos deben estar equipados con respaldos o asideros.

Según el apartado 4.5 *Eje*, el eje del soporte del carrusel no debe estar inclinado en un ángulo superior a 5° con respecto a la vertical.

El apartado 5. *Requisitos específicos* para los carruseles tipo A obliga a que el diámetro del carrusel no supere los 2000 mm. El espacio libre al suelo no deberá ser inferior a 400 mm. Todos los componentes que se muevan alrededor del eje del carrusel deben estar libres de asperezas y redondeados con un radio de al menos 5 mm.

## 5.2. Método FAST

El método FAST consiste en realizar un gráfico que identifique las funciones que se aplican al conjunto del producto y relacionarlas. Esta relación entre funciones permitirá conocer la lógica funcional del producto permitiendo dar soporte a la búsqueda de soluciones.

En este método se obviarán las funciones más generales como resistencia a clima adverso o seguridad para el usuario, centrándose en las funciones que tengan que ver con la lógica funcional del producto.

En la parte izquierda del gráfico se muestra el objetivo principal del producto y a partir de ahí se ha ido construyendo el diagrama. Las líneas con dirección hacia la derecha responden a la cuestión “¿por qué?”, las líneas con dirección hacia la izquierda responden a la pregunta “¿cómo?” y las flechas hacia arriba o abajo contestan a la cuestión “¿cuándo?” o “¿qué?”.

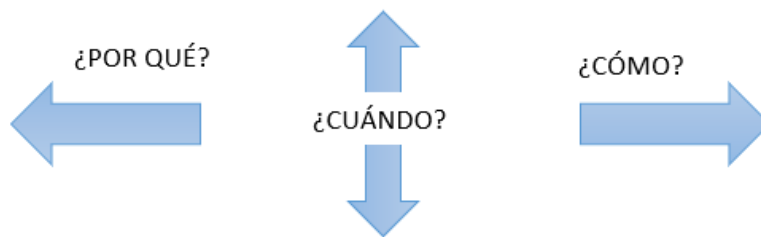


Ilustración 19. Formulación de preguntas para la construcción del diagrama FAST. Fuente: Propia.

A continuación se expone el diagrama correspondiente al método FAST para el columpio a diseñar.

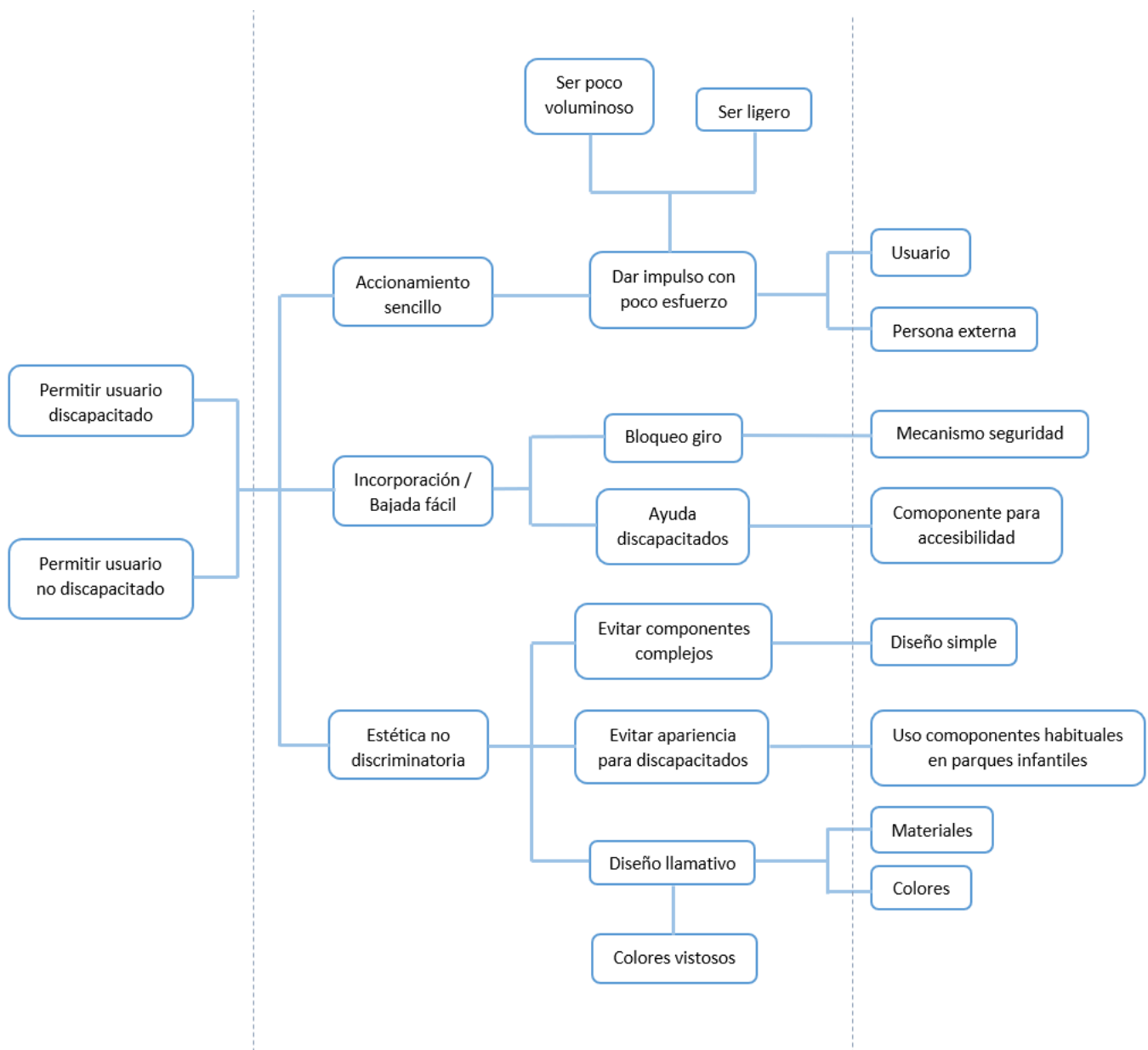


Ilustración 20. Diagrama correspondiente al método FAST. Fuente: Propia.

### 5.3. Pliego de Condiciones Funcional

El Pliego de Condiciones Funcional es la expresión funcional de la necesidad. El objetivo de este documento es expresar las necesidades funcionales sin aludir a las soluciones, lo que permite que futuros diseñadores tengan una gran libertad para llevar a cabo el diseño.

Se trata de recopilar en un único documento los principales resultados obtenidos en los métodos RED y FAST, mostrando las diferentes necesidades funcionales detalladas, cuantificadas e indicando su grado de flexibilidad. Se indicará la importancia de cada necesidad mediante el coeficiente  $K$  siendo 5 el valor más importante y 1 el menor. Además, se distinguirá entre dos tipos de necesidades : funciones de servicio y exigencias.

#### 1. Funciones de servicio

Nº	DESIGNACIÓN	K	CRITERIO	NIVEL	FLEXIBILIDAD
1	Permitir uso conjunto	5	Nº Usuarios	> 2	-
			Nivel accesibilidad	-	-
2	Facilidad incorporación/bajada	5	Altura asiento	40 cm	$\pm 10$ cm
			Sistema de ayuda	-	-
3	Diversión	4	Juego conjunto	-	-
			Juego dinámico	-	-
4	Sencillez uso	4	Diseño intuitivo	-	-
5	Sencillez accionamiento	4	Tipo accionamiento	-	-
6	Apariencia columpio normal	3	Nº elementos convencionales	>1	-
7	Giro controlado	3	Sistema de giro	-	-
			Revoluciones	20 rpm	$\pm 5$ rpm
8	Soportar peso usuario	3	Peso	100 kg	10%
			Estructura	-	-
9	Soportar uso indebido	3	Peso	100 kg	10 %
			Material	-	-
10	Bajo esfuerzo físico requerido	3	Tipo accionamiento	-	-
			Peso asiento	20 kg	$\pm 10$ kg
11	Ergonómico	2	Confort	-	-
12	Estética llamativa	2	Colores	-	-
			Materiales	-	-
13	Facilidad mantenimiento	1	Componentes normalizados	-	-

Tabla 1. Funciones de servicio del PCF. Fuente: Propia.

## 2. Exigencias

Nº	DESIGNACIÓN	K	CRITERIO	NIVEL	FLEXIBILIDAD
15	Seguridad usuario	5	Fijación usuario	-	-
			Peso	100 kg	± 10 kg
16	Seguridad personas alrededor	5	Fiabilidad estructural	-	-
			Peso	100 kg	± 10 kg
17	Resistir entorno externo	4	Norma		
			Materiales	-	-
18	Materiales no inflamables	4	Materiales	-	-
19	Materiales sostenibles	4	Materiales	-	-
20	Materiales reciclables	3	Materiales	-	-

Tabla 2. Exigencias del PCF. Fuente: Propia.

## 6. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD

El método QFD (Quality Functional Deployment) tiene como objetivo conseguir la máxima calidad del producto a diseñar sistematizando la información obtenida del usuario y los requerimientos funcionales en una misma representación gráfica. De esta manera, se consigue comprender las necesidades del cliente y traducirlas en requerimientos útiles para el ingeniero.

Esta metodología persigue tres objetivos:

- Plasmar las demandas del cliente en objetivos de diseño.
- Conseguir una calidad óptima.
- Reducir el tiempo de lanzamiento del producto.

Cabe destacar que este método consta de cuatro etapas: definición de producto, definición de componentes, definición de procesos y organización de producción. El proyectista se centrará únicamente en las dos primeras, **definición de producto** (QFD 1) y **definición de componentes** (QFD 2), ya que es suficiente para el alcance del proyecto.

### 6.1. QFD 1

En la primera etapa, se construirá una primera **matriz** para relacionar de diferentes maneras las necesidades de los clientes con los parámetros técnicos. Esta matriz constará de cuatro partes:

#### 1. CUERPO CENTRAL DE LA MATRIZ

Esta parte de la matriz constará de una columna vertical donde se colocarán las **necesidades del cliente** y una columna horizontal donde se encontrarán los **parámetros técnicos de diseño**. De esta manera, cada casilla de la matriz será un cruce entre una demanda del cliente y un parámetro de diseño. Se valorará cada una de estas relaciones de la siguiente manera:

- 9 : relación fuerte
- 3 : relación media
- 1 : relación débil
- En blanco : sin relación.

#### 2. TEJADO o MATRIZ DE CORRELACIONES

Se trata de la parte superior de la matriz y en ella se relacionan los **parámetros técnicos de diseño entre sí**. El objetivo es mostrar si existen relaciones entre parámetros para determinar si conviene o no modificar determinados valores de un parámetro teniendo en cuenta que puede influir en otros. Cabe destacar que en los QFD's realizados no se incluirá el tejado de la matriz ya que no será necesaria la correlación entre los parámetros técnicos.



### 3. MEDIDA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS

Es la parte inferior de la matriz y en ella se definen unidades y direcciones de mejora. También se pueden comparar productos de la competencia con el producto a diseñar obteniendo así una comparativa de la competencia real en el mercado. Los productos de la competencia analizados en el QFD 1 han sido los mostrados a continuación. Ambos han sido explicados en el apartado 5.1.5 *Ánisis de productos de referencia*.

- Competencia 1: *Playdale Playgrounds Columpio MegaSwing*.
- Competencia 2: *Parques infantiles México Modelo DC-4A-2014*.

### 4. PORCENTAJES RESULTANTES

Corresponden a la parte derecha de la matriz y muestra diferentes porcentajes que servirán para valorar la aproximación entre las demandas del cliente y los objetivos del producto. De esta manera, los porcentajes que se obtendrán serán:

- **Evaluación del cliente:** Corresponde al nivel de acierto que adjudica el cliente, en tanto por ciento, a la valoración que el proyectista realiza sobre la importancia de cada requerimiento funcional.
- **Peso ponderado:** Importancia, en tanto por ciento, que el proyectista adjudica a cada necesidad o requerimiento. La suma de todos los porcentajes será el 100 %.
- **Evaluación ponderada:** Importancia, en tanto por ciento, que el cliente adjudica a cada necesidad o requerimiento funcional.
- **Brecha absoluta o ponderada:** Tanto por ciento a mejorar en cada necesidad para alcanzar los niveles impuestos por el cliente.
- **Brecha absoluta relativa:** Tanto por ciento que mejorará el producto en general si se ajusta la importancia de una necesidad a la sugerida por el cliente. La suma de todos los porcentajes será el 100 %.

#### 6.1.1. Expectativas del usuario

En primer lugar, se deberán recoger todas las posibles expectativas que tenga el usuario relacionadas con el uso del columpio. Para este proyecto el usuario no coincide con el cliente, siendo éste último el Ayuntamiento de Pamplona, por lo que el proyectista se deberá centrar en las necesidades del usuario y no del cliente.

Se ha elaborado una tabla con posibles necesidades de diferentes usuarios: usuarios sin discapacidad, con discapacidad motora (silla ruedas) y con discapacidad intelectual. Para cada usuario se ha valorado cada expectativa del 1 al 5, siendo la valoración 5 la más importante.

De esta manera, se ha conseguido una puntuación para cada necesidad lo que servirá al proyectista para conocer cuales de ellas son más importantes para los diferentes usuarios.



EXPECTATIVAS USUARIO		Seguridad usuario	Resistencia entorno	Facilidad uso	Juego conjunto	Diversión	Diseño innovador	Independencia uso	Diseño atractivo	Seguridad persona externa
Tipo usuario	Peso									
Sin discapacidad	33,33%	4	2	4	4	5	2	5	2	4
Usuario silla de ruedas	33,33%	5	2	5	5	4	1	4	1	4
Usuario discapacidad intelectual	33,33%	5	2	5	5	4	1	3	1	4
Peso total	100%	467	200	467	467	433	133	400	133	400
<b>Peso normalizado sobre 100</b>		<b>93</b>	<b>40</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>87</b>	<b>27</b>	<b>80</b>	<b>27</b>	<b>80</b>

Tabla 3. Valoración de expectativas del usuario. Fuente: Propia.

De esta manera las expectativas del usuario ordenadas de mayor a menor importancia quedarían de la siguiente manera:

Nº	Expectativa	Valoración
1	Facilidad uso	93
2	Juego conjunto	93
3	Seguridad usuario	93
4	Diversión	87
5	Independencia uso	80
6	Seguridad persona externa	80
7	Resistencia entorno	40
8	Diseño atractivo	27
9	Diseño innovador	27

Tabla 4. Expectativas de usuario ordenadas según importancia. Fuente: Propia.

#### 6.1.2. Parámetros técnicos de diseño

Se definirán a continuación los parámetros técnicos de diseño los cuales pretender dar solución a las necesidades expuestas en el apartado anterior, es decir, responderán a la pregunta **CÓMO** de la expectativa.

Los parámetros técnicos de diseño serán:

- Fuerza necesaria impulso. (N)
- Altura asiento. (cm)
- Peso columpio. (kg)
- Número usuarios. (número)
- Resistencia materiales.
- Resistencia estructural.
- Sistema ayuda discapacidad.
- Tipo de materiales.

A continuación se muestra la matriz realizada para el QFD 1.

				Parámetros de Diseño													
			QFD 1 COLUMPIO INCLUSIVO	Calificación ponderada actual	1	2	3	4	6	7	8	9					
				75,7%	14,2%	7,9%	15,2%	16,5%	9,1%	6,0%	23,5%	7,6%					
Necesidad Superior	No	Necesidad del Cliente	Peso Ponderado	Fuerza impulso	Altura asiento	Peso columpio	Nº usuarios	Resistencia materiales	Resistencia estructural	Sistema discapacidad	Tipo materiales	Eval de clientes	Peso Ponderado	Eval ponderada	Brecha absoluta ponderada	Brecha absoulta relativa	
Inclusión social	1	Facilidad uso	15,0%	9	3	9	1	0	0	9	0	93%	15,0%	14,0%	1,1%	4,3%	
	2	Juego conjunto	15,0%	0	3	1	9	0	0	9	0	93%	15,0%	14,0%	1,1%	4,3%	
	3	Independencia de uso	10,0%	0	3	1	1	0	0	9	0	80%	10,0%	8,0%	2,0%	8,2%	
Seguridad	4	Seguridad usuario	15,0%	3	1	3	1	3	3	1	3	93%	15,0%	14,0%	1,1%	4,3%	
	5	Seguridad persona externa	10,0%	3	0	3	0	3	3	0	3	80%	10,0%	8,0%	2,0%	8,2%	
Diversión	6	Diversión	12,0%	1	0	1	9	0	0	0	0	87%	12,0%	10,4%	1,6%	6,4%	
Resistencia al entorno	7	Resistencia al entorno	9,0%	0	0	0	0	9	3		3	40%	9,0%	3,6%	5,4%	22,2%	
Estética	8	Diseño innovador	7,0%	3	0	1	0	0	0	3	3	27%	7,0%	1,3%	5,1%	21,0%	
	9	Diseño atractivo	7,0%	0	0	1	0	0	0	1	1	27%	7,0%	1,3%	5,1%	21,0%	
			100,0%														
			Peso ponderado OK	2,4	1,4	2,6	2,8	1,6	1,0	4,0	1,3	68,9%	100,0%	75,7%	24,3%	100,0%	
				Fuerza impulso	Altura asiento	Peso columpio	Nº usuarios	Resistencia materiales	Resistencia estructural	Sistema discapacidad	Tipo materiales						
			Métrico	N	cm	kg	número	resistencia	resistencia	tipo	materiales						
			Dirección de Mejora	menor es mejor	menor es mejor	menor es mejor	mayor es mejor	mayor es mejor	mayor es mejor	-	-						
			Nivel competencia 1	Propio peso	50	-	2	alta	alta	Ninguno	Acero						
			Nivel competencia 2	Baja	-	-	4	alta	normal	Rampa acceso	Acero						

Matriz 1. QFD 1

### 6.1.3. Conclusiones

En primer lugar se mostrará el **pareto de parámetros de diseño**, el cual comparará las diferentes contribuciones porcentuales en base a las necesidades del cliente introducidas en la matriz. Esto servirá al proyectista para saber en que parámetros se debe prestar especial atención.

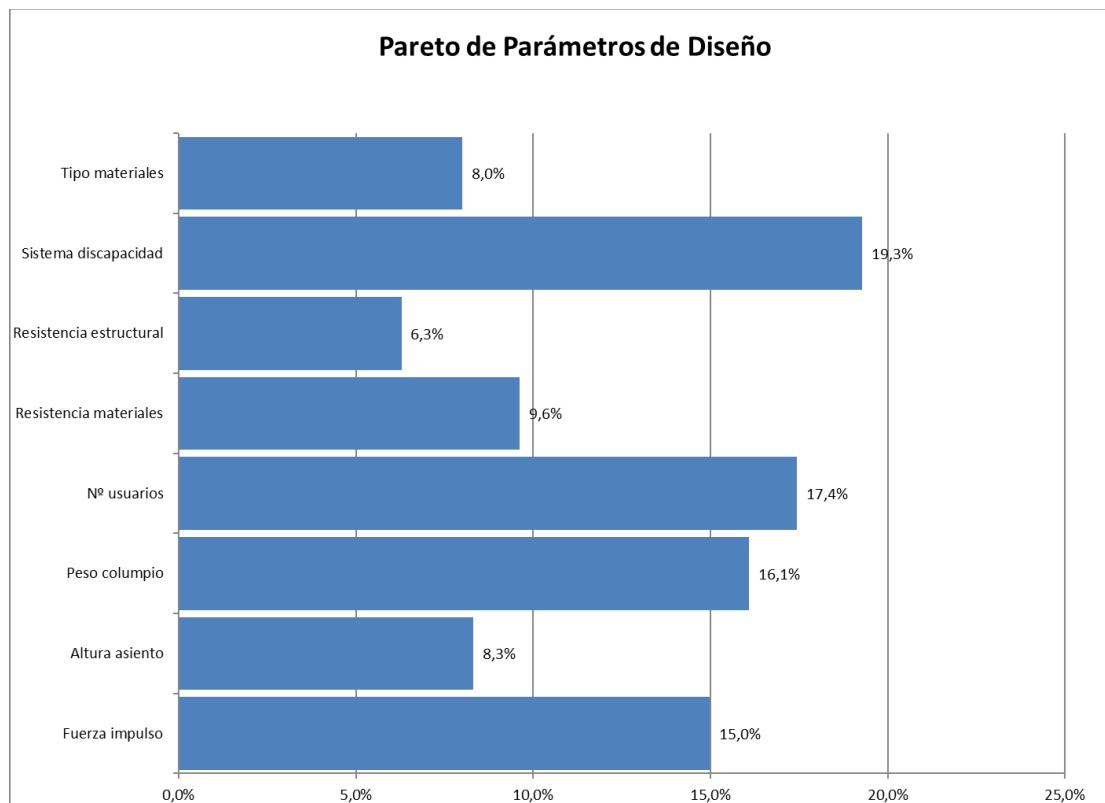


Gráfico 4. Pareto Paramétros de Diseño para QFD 1. Fuente: Propia.

Como se aprecia en el gráfico, los parámetros de diseño que más van a afectar a la calidad del producto y por consecuencia influirán más en la satisfacción del cliente son:

1. **Sistema discapacidad (19,3 %)** : No se debe olvidar que se trata de un columpio inclusivo, por lo que diseñar un sistema que facilite el uso a personas discapacitadas supondrá cumplir con un requisito indispensable en el proyecto.
2. **Nº usuarios (17,4%)** : Uno de los objetivos del proyecto es favorecer la inclusión social, por lo tanto, cuantos más niños puedan jugar a la vez, mayor inclusión supondrá en los usuarios con discapacidad.
3. **Peso columpio (16,1%)** : Se deberá intentar reducir el peso total del columpio para que su accionamiento no sea dificultoso.
4. **Fuerza de impulso (15%)** : Hay que destacar que cuanta menos fuerza deba realizar el usuario para accionar el columpio mejor, por lo tanto, es normal que sea un parámetro de diseño a considerar.

En segundo lugar se expondrá el **pareto de brecha**, el cual expone la diferencia porcentual que existe entre lo que cliente espera del producto y la visión del proyectista. Esta información se traduce en el margen de mejora que puede tener el producto en base a las necesidades del cliente. Habrá que prestar especial atención a aquellas necesidades que presentan una gran brecha, y además sean muy importantes para el cliente. En rojo se muestra la importancia de cada necesidad según el cliente, en azul según el proyectista y en verde la brecha absoluta ponderada.

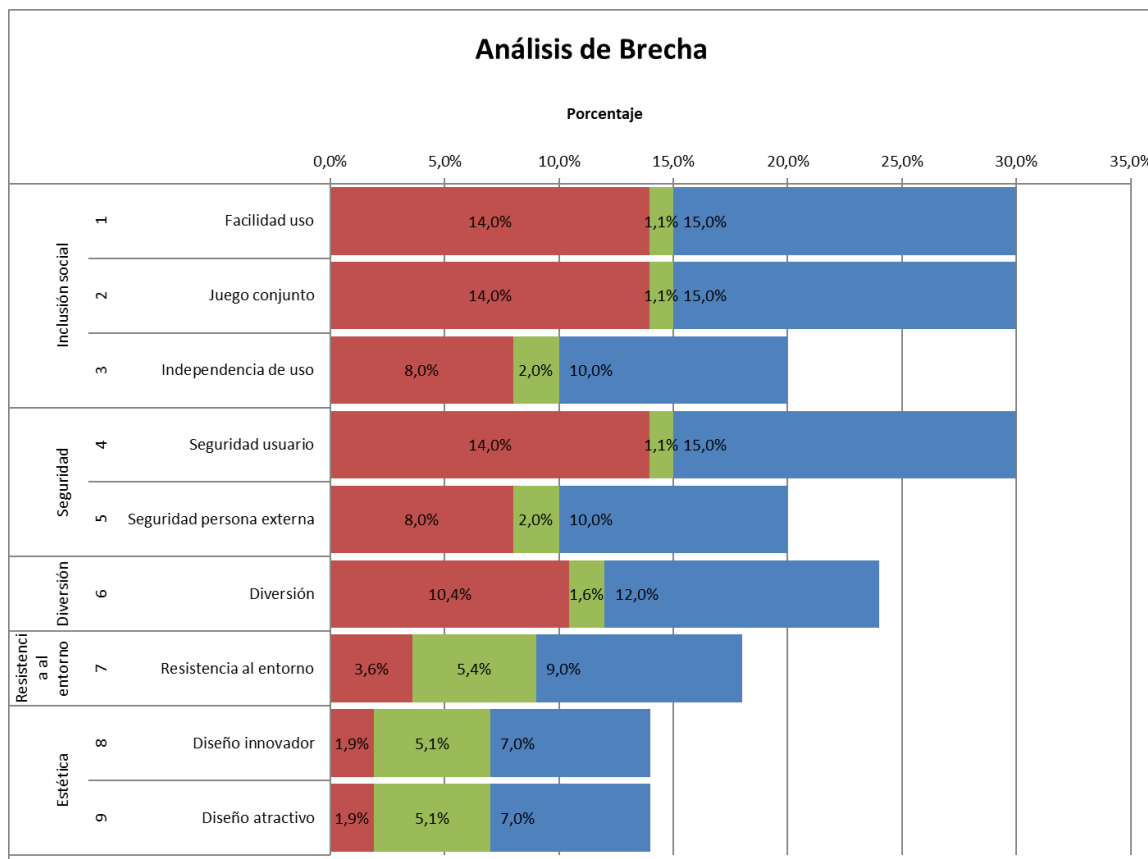


Gráfico 5. Análisis de brecha para QFD 1. Fuente: Propia.

Como se observa, no existen grandes brechas que den lugar a un posible margen de mejora significativo, ya que las mayores brechas se dan en necesidades que el cliente no considera demasiado importantes. Se podría destacar la brecha del 2% en las necesidades *Independencia de uso* y *Seguridad de persona externa*, ya que tanto cliente y proyectista consideran que tienen una importancia media.



## 6.2. QFD 2

En la primera matriz del QFD se relacionaba las necesidades del cliente con los parámetros técnicos de diseño. En esta segunda matriz se relacionará los **parámetros técnicos de diseño** con los diferentes **componentes** del producto. El objetivo de éste segundo QFD es dotar de más importancia a determinados componentes de diseño en función de los parámetros técnicos, con el fin de que el diseñador invierta más tiempo en el diseño de los componentes más importantes.

El peso de los parámetros técnicos de diseño estará vinculado con los resultados obtenidos en el QFD 1.

### 6.2.1. Componentes de diseño

Los componentes principales que se han analizado durante esta etapa del proceso de diseño han sido:

- **Estructura:** Se trata del elemento sobre el que colgará el columpio, dotará de cobijo a los usuarios y puede permitir albergar otros juegos en ella.
- **Asiento:** Es el componente que permitirá sentarse a los usuarios. Durante el diseño preliminar se concretará si es un asiento al uso o bien se tratará de algo parecido. De momento se designará este componente como *“asiento”*.
- **Sistema de giro:** No se trata de un simple componente sino que será el sistema que permita el giro del asiento respecto de la estructura.
- **Componente para accesibilidad:** Se tratará de un componente que permita ayudar a personas discapacitadas a incorporarse o bajar del columpio. Todavía es pronto para concretar si será un componente individual o bien estará integrado en el asiento.
- **Uniones:** Se refiere a los componentes intermedios entre los anteriormente citados. Por ejemplo, el elemento que una la estructura con el asiento.

A continuación se muestra la matriz realizada para el QFD 2.



			COMPONENTES DISEÑO					
QFD 2 COLUMPIO INCLUSIVO			1	2	3	4	5	6
			11,6%	32,2%	18,1%	6,3%	26,7%	5,1%
No	PARÁMETROS DE DISEÑO	Peso Ponderado	Estructura	Asiento/s	Sistema giro	Elementos accionamiento	Componente accesibilidad	Uniones
1	Fuerza impulso	15,0%	0	9	9	3	1	1
2	Altura asiento	8,3%	0	9	1	0	9	0
3	Peso columpio	16,1%		1	1	1	3	0
4	Nº usuarios	17,4%	3	9	1	0	3	0
9,6	Resistencia materiales	9,6%	3	0	1	0	0	3
7	Resistencia estructural	6,3%	9	0	0	0	0	3
8	Sistema discapacidad	19,3%	0	3	3	1	9	0
9	Tipo materiales	8,0%	3	1	1	1	1	1
100,0%								
Peso ponderado OK			1,6	4,5	2,5	0,9	3,7	0,7

Matriz 2. QFD 2



### 6.2.2. Conclusiones

Una vez realizado el QFD 2, se analizará el **pareto de componentes de diseño**, el cual aportará la información necesaria para prestar a cada componente la atención adecuada en base a su resultado porcentual.

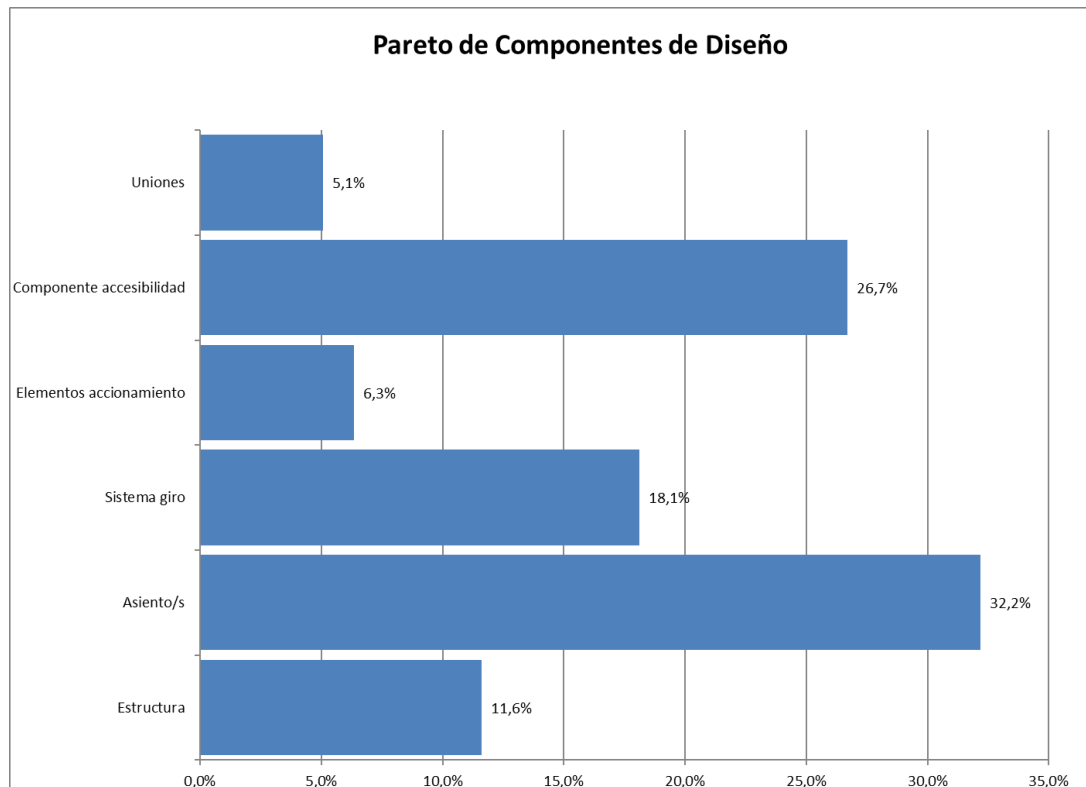


Gráfico 6. Pareto de componentes del QFD 2. Fuente: Propia.

Como se observa, los componentes a los que habrá que prestar mayor atención serán:

1. **Asiento/s (32,2%)** : El componente con mayor porcentaje ha sido el asiento, algo obvio, ya que va a ser el componente mas importante de este producto.
2. **Componente para accesibilidad (26,7%)** : El segundo componente con más porcentaje ha sido el componente para accesibilidad. No se debe olvidar que este área recreativa tiene como objetivo la inclusión social por lo que el diseño de un componente que facilite la utilización no discriminatoria por parte de personas discapacitadas será clave.
3. **Sistema giro (18,1%)** : El tercer componente con mayor puntuación ha sido el sistema de giro. Esta requisito venía marcado por la lista de invariantes, por lo que el buen diseño de este sistema será un factor determinante en el diseño definitivo.



## 7. DISEÑO CONCEPTUAL

Una vez se ha realizado el Pliego de Condiciones Funcional y el Despliegue de la Función Calidad, ya se conocen los requerimientos funcionales a cumplir, los parámetros funciones de diseño más importantes y los componentes de diseño a los que otorgar mayor importancia. En esta etapa del proceso de diseño, se pretende dar soluciones conceptuales que cumplan los requerimientos funcionales. De momento, no se generarán soluciones finales, sino que se realizarán bocetos para ilustrar el concepto que se desarrollará en las próximas etapas.

Se llevarán a cabo diferentes soluciones para diferentes componentes y seguidamente, cuando se tengan los diseños conceptuales de cada componente principal, se realizará una **selección de alternativas individuales** con el fin de descartar las combinaciones menos favorables. A continuación se realizará una **selección de alternativas combinadas** también denominado método de Objetivos Ponderados, ya que no siempre la combinación de las mejores alternativas individuales da lugar a la mejor alternativa global.

### 7.1. Generación de soluciones

El proyectista dará diferentes soluciones para cada uno de los componentes principales. Los diseños expuestos en este apartado no son soluciones finales, como se ha dicho anteriormente, se trata de bocetos conceptuales.

Los componentes del producto de las cuales se generarán diferentes soluciones son:

- Estructura.
- Asiento.
- Sistema de giro.
- Accionamiento.

#### 7.1.1. Estructura

La estructura es el elemento que soportará el peso del columpio y de los usuarios, transmitiendo los esfuerzos generados durante el funcionamiento desde el columpio al suelo. Además, la estructura servirá de cobijo ante situaciones climatológicas adversas protegiendo al columpio de oxidación y acumulación de agua o nieve. Un buen diseño de este elemento puede permitir la incorporación de otros componentes recreativos que favorezcan la inclusión social.

##### ➤ Solución 1: Estructura en forma de iglú.

La primera solución para la estructura es la presentada en el trabajo realizado “*Diseño de columpio inclusivo*” para la asignatura Oficina Técnica. Se trata de dos barras tubulares de acero dobladas y cruzadas entre sí en forma de iglú. El principal inconveniente de este diseño es que

será necesario una cubierta supletoria para prevenir de agentes externos como lluvia o nieve. Un punto a favor para este diseño es su estética así como la gran resistencia para colgar el columpio de su parte central.



*Ilustración 21. Boceto estructura en forma de iglú. Fuente: Propia.*

➤ Solución 2: Estructura en forma de puente.

Se trata de un conjunto de barras soldadas entre sí dando lugar a una forma de arco o puente en su parte superior. La principal baza de esta solución es que permitiría aprovechar el espacio entre postes para incorporar redes o un rocodromo infantil, y además su forma inclinada permitirá evacuar el agua. El único inconveniente será la manera de colgar el columpio, para la cual habrá que diseñar convenientemente su parte central para asegurar la resistencia de todas las barras ante el peso del columpio y usuarios.



*Ilustración 22. Boceto estructura en forma de puente. Fuente: Propia.*

➤ Solución 3: Estructura clásica de columpio.

La tercera solución es la clásica estructura para columpios, con una barra central y en cada extremo dos apoyos a tierra. Se trata de una alternativa poco innovadora y la cual no permitirá incorporar juegos suplementarios.



*Ilustración 23. Boceto estructura clásica de columpio. Fuente: Propia.*

➤ Solución 4: Estructura tejado a dos aguas.

Por último, la cuarta alternativa es una estructura rectangular con un tejado a dos aguas. Contiene todos los puntos a favor expuestos en la solución 2 y además el tejado permitirá evacuar el agua y la nieve. Un problema a resolver sería como colgar el columpio, teniendo que incorporar alguna barra extra.



*Ilustración 24. Boceto estructura con tejado a dos aguas. Fuente: Propia.*

### 7.1.2. Asiento

El asiento es el elemento que albergará los usuarios durante el funcionamiento del columpio. Este componente debe asegurar la fácil incorporación de cualquier tipo de usuario así como su seguridad. También se debe tener en cuenta la ergonomía con el fin de asegurar comodidad y confort.

➤ Solución 1: Asiento doble conjunto.

Esta solución fue la realizada para el trabajo de Oficina Técnica del cual ya se ha hablado anteriormente. Como se ha explicado en el apartado 2 de esta memoria “*Análisis Primer Diseño de Columpio Inclusivo*”, tiene varios inconvenientes como su peso, la dificultad de incorporación para personas con movilidad reducida o su posible incomodidad.

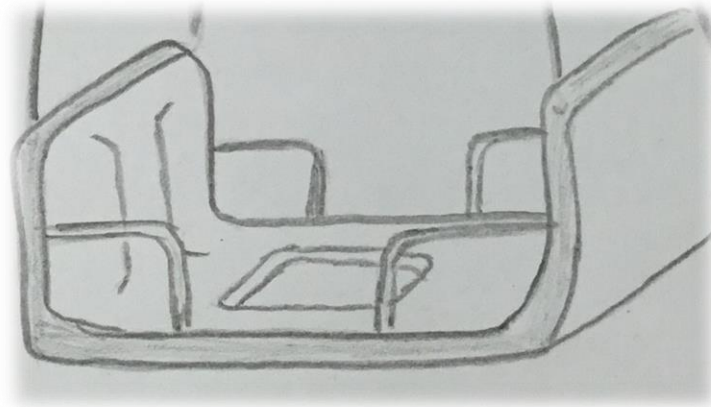


Ilustración 25. Boceto de asiento doble. Fuente: Propia.

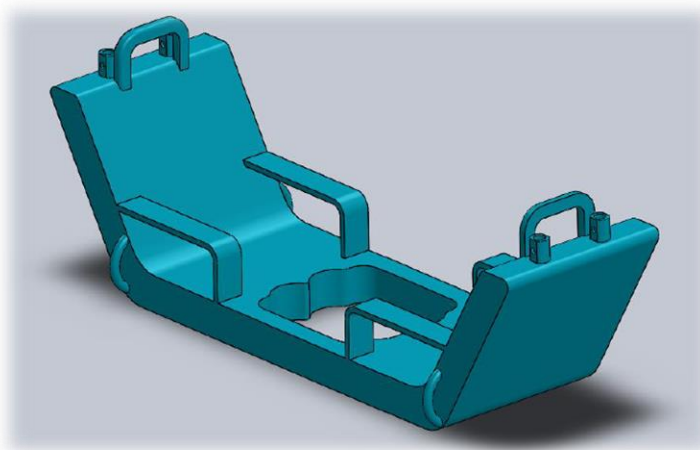
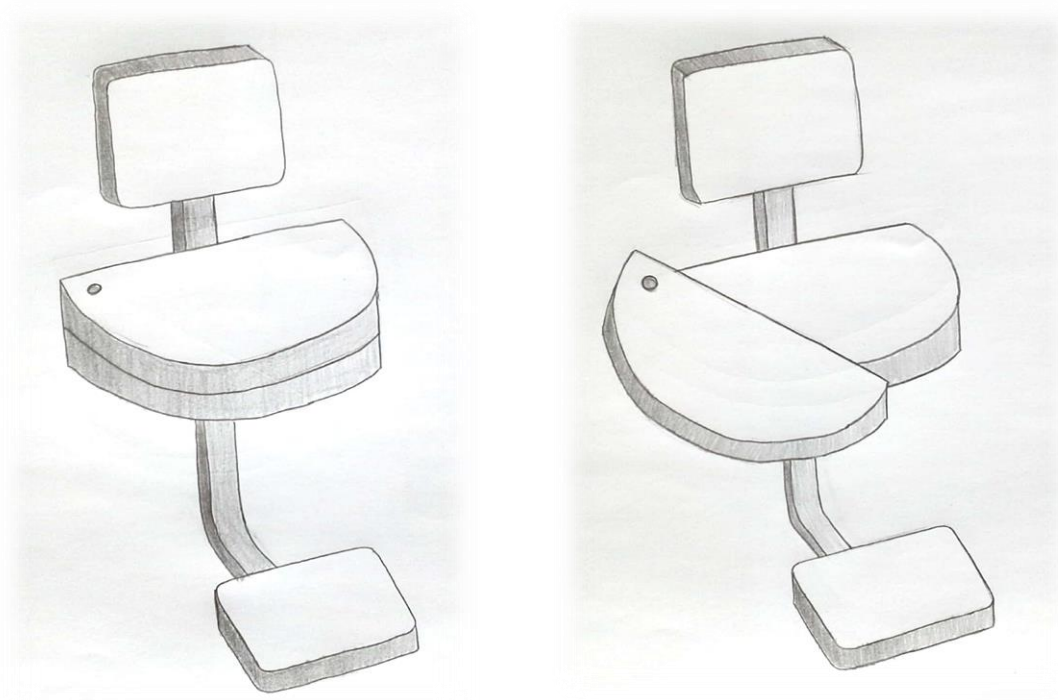


Ilustración 26. Asiento doble diseñado en trabajo "Diseño de Columpio Inclusivo". Fuente: Propia.

➤ Solución 2: Asiento de transferencia.

Esta alternativa está basada en las tablas de transferencia utilizadas para ayudar a personas discapacitadas o con problemas de movilidad desde una silla de ruedas a un asiento, silla, cama, etc. La parte sobre la que se sienta el usuario puede rotar sobre un eje, desplegándose y saliendo hacia afuera para facilitar la incorporación. En el boceto mostrado a continuación se ha incluido un respaldo y un reposapiés para ilustrar mejor la idea.

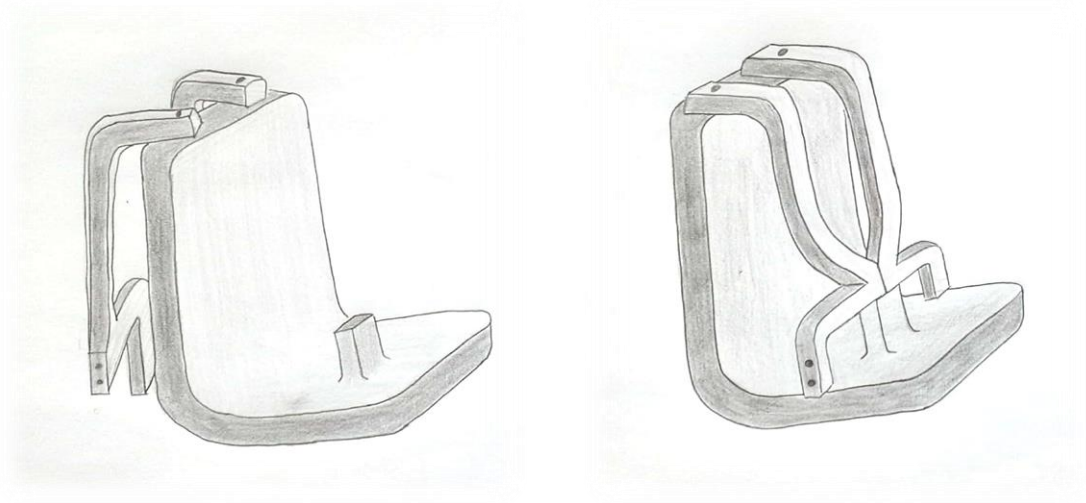


*Ilustración 27. Bocetos asiento de transferencia. Fuente: Propia.*

➤ Solución 3: Asiento con arnés plegable.

La tercera alternativa para el diseño conceptual del asiento se basa en la incorporación de un arnés plegable. De esta manera, un usuario con capacidades diferentes que necesite una sujeción apropiada podrá usar este arnés, mientras que un usuario sin discapacidad podrá plegarlo hacia atrás sin que éste afecte al funcionamiento del columpio. El diseño del arnés será clave para no discriminar a ningún usuario por altura o peso.

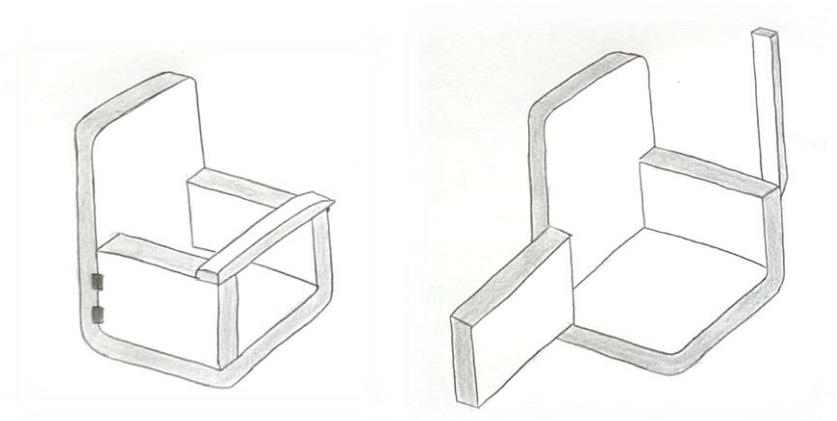




*Ilustración 28. Bocetos para asiento con arnes plegable. Fuente: Propia.*

➤ Solución 4: Asiento con puerta para incorporación.

La última solución propuesta es un asiento en forma de butaca. La principal cualidad de esta alternativa es el accionamiento con el que cuenta uno de sus laterales, capaz de abrirse a modo de puerta para facilitar la incorporación de personas con movilidad reducida. Además, cuenta con un reposamanos también plegable con el fin de disminuir el riesgo de caída hacia delante del usuario.



*Ilustración 29. Bocetos para asiento con puerta de incorporación. Fuente: Propia.*



### 7.1.3. Sistema de giro

A continuación se intentará dar solución a la forma de giro del columpio. Como hasta ahora no se conocen los componentes exactos de los que constará el columpio los bocetos reflejarán tan solo la solución conceptual.

➤ Solución 1: Giro en un sentido. Sistema de trinquete.

Este sistema permite el giro en un sentido mientras que restringe el giro en sentido contrario. Sin embargo, las dimensiones del producto pueden ser un hándicap para la incorporación de este sistema.

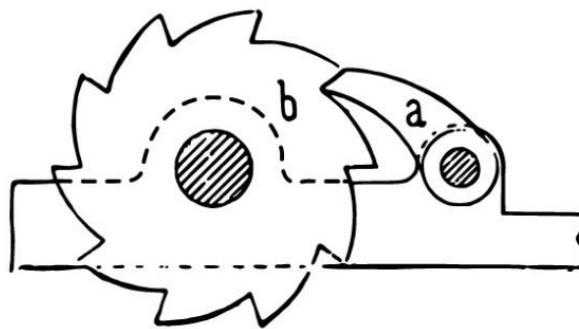


Ilustración 30. Sistema de trinquete. Fuente: Google Imágenes.

De esta manera el eje del columpio se diseñaría con forma de rueda dentada en su parte superior (pieza *b* en la ilustración) y se incorporaría un ñeta (pieza *a* en la ilustración) la cual bloquearía el giro en uno de los sentidos. Además esta ñeta debería contar con un muelle que la mantenga en su posición.

➤ Solución 2: Giro libre.

La segunda alternativa para el sistema de giro es que los componentes giren libremente en cualquier sentido. Para esta solución no se presenta boceto ya que dependerá mucho del diseño final del producto y sus componentes. Un inconveniente podría ser el rozamiento entre componentes que originaría fricción y podría acabar inhabilitando el sistema de giro.

➤ Solución 3: Giro libre con rodamiento.

Esta tercera solución fue la elegida para el sistema de giro del trabajo “*Diseño de Columpio Inclusivo*” para la asignatura Oficina Técnica. En ella se incorporó un rodamiento en la unión entre el columpio y la estructura.

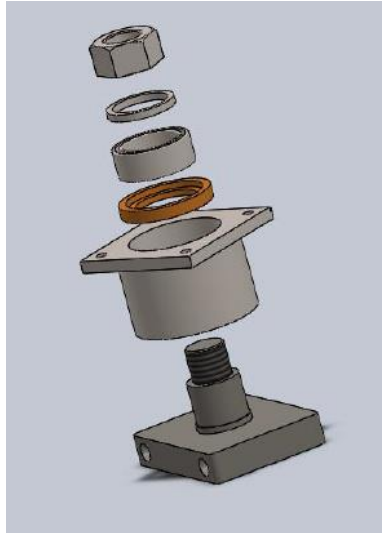


Ilustración 31. Sistema de giro con rodamiento. Fuente: Propia.

#### 7.1.4. Accionamiento

Se pretenderá generar diferentes alternativas para el accionamiento del columpio.

➤ Solución 1: Accionamiento por parte del usuario.

En esta primera solución se ha introducido un volante a la altura del asiento del columpio. Así, el propio usuario es capaz de accionar el giro. El volante se encontrará fijado a la estructura ya que si se encontrara fijado al suelo impediría la rotación del columpio.

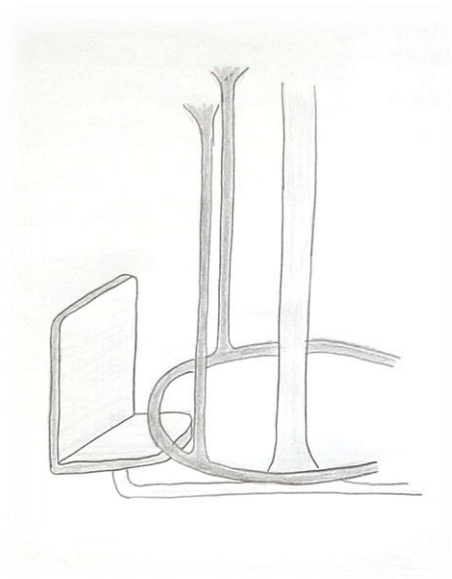
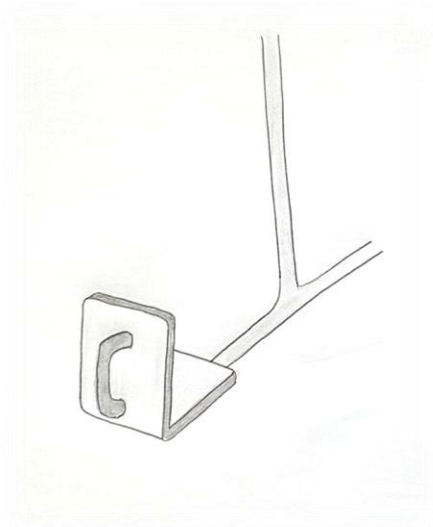


Ilustración 32. Boceto para accionamiento por usuario. Fuente: Propia.

➤ Solución 2: Accionamiento por persona externa.

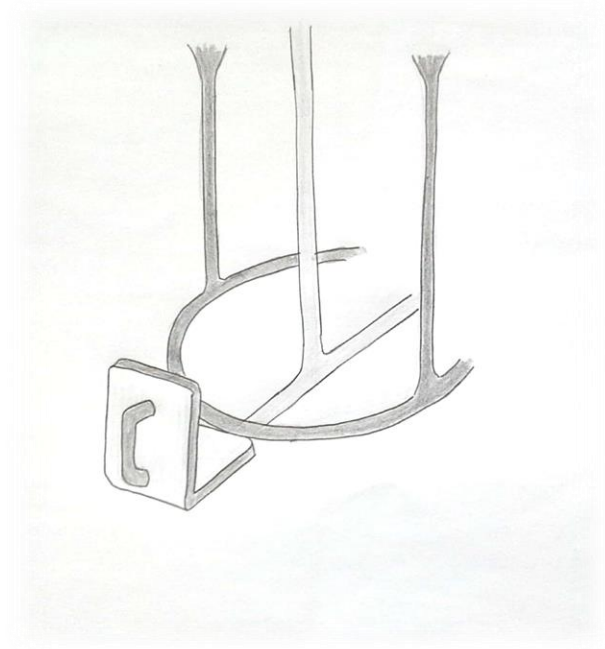
La segunda opción elegida para la manera de accionar el columpio es mediante una persona externa. Se ha incorporado un asa en el respaldo del columpio con el fin de que una persona desde el exterior dé el impulso necesario para girar el columpio. El propio hecho de que el usuario dependa de alguien para usar el producto supone un hándicap ya que uno de los requisitos que se expusieron anteriormente fue la independencia del usuario.



*Ilustración 33. Boceto para accionamiento por persona externa. Fuente: Propia.*

➤ Solución 3: Solución combinada. Accionamiento por usuario y/o persona exterior.

La tercera alternativa elegida es una combinación de las dos anteriores. Cuenta con el volante anclado a la estructura para que el usuario sea capaz del accionamiento y además tiene el asa para el caso en que el usuario no sea capaz de proporcionar el impulso requerido.



*Ilustración 34. Boceto para accionamiento combinado. Fuente: Propia.*

## 7.2. Selección de alternativas individuales

Tras realizar los bocetos para cada uno de los componentes principales del producto, se tiene el siguiente número de alternativas:

- Estructura: 4 soluciones
- Asiento: 4 soluciones
- Sistema de giro: 3 soluciones
- Accionamiento: 3 soluciones

Combinando todas estas soluciones se tiene un total de 144 combinaciones posibles. Analizar todas estas opciones y obtener la alternativa más favorable es un proceso largo y costoso, por lo que no es viable. Mediante la selección de alternativas individuales se pretende reducir el número de combinaciones totales mediante el descarte de las peores alternativas particulares.

Para evaluar y obtener la mejor alternativa particular para cada componente se escogerá una de las alternativas como referencia. Las otras alternativas se valorarán en comparación con la referencia en base al siguiente sistema de puntuación:

Mucho peor	-> -2
Peor	-> -1
Igual	-> 0
Mejor	-> 1
Mucho mejor	-> 2

Los criterios que se valorarán serán diferentes para cada componente en base a su funcionalidad y han sido elegidos por el diseñador. Tras valorar cada criterio se realizará un sumatorio y finalmente se elegirá la alternativa o alternativas descartadas.

	ESTRUCTURA			
	IGLÚ	PUENTE	CLÁSICA	DOS AGUAS
Simplicidad	0	-1	1	-2
Protección	0	2	-2	2
Incorporación juegos extra	0	2	-2	2
Facilidad colgar columpio	0	-1	0	-1
Innovación	0	0	-2	-1
Estética	0	0	-1	0
<b>Puntuación</b>	0	2	-6	0

Tabla 5. Evaluación de alternativas para la Estructura. Fuente: Propia.

Las alternativa con menor puntuación queda descartada. Como existe un empate entre la estructura en forma de iglú y la de tejado a dos aguas, el diseñador decide escoger la segunda para que el diseño final varíe del realizado en el trabajo “Diseño de Columpio Inclusivo” de la asignatura Oficina Técnica.

De esta manera las soluciones que se mantendrán para selección de alternativas combinadas son: estructura en forma de **punto** y estructura con **tejado a dos aguas**.

	ASIENTO			
	DOBLE	TRANSFERENCIA	ARNÉS	PUERTA
Simplicidad	0	0	-1	0
Independencia	0	2	1	1
Facilidad acceso	0	2	1	2
Seguridad	0	0	2	0
Confort	0	0	0	0
Innovación	0	2	1	1
Estética	0	1	-1	1
<b>Puntuación</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>5</b>

Tabla 6. Evaluación de alternativas para el Asiento. Fuente: Propia.

Las dos soluciones que se mantendrán en el proceso de diseño son: Asiento de **Transferencia** y Asiento de **Puerta** Abatible.

	SISTEMA DE GIRO		
	TRINQUETE	GIRO LIBRE	RODAMIENTO
Simplicidad	0	2	1
Facilidad incorporación	0	2	1
Seguridad	0	-1	2
Fiabilidad	0	-1	0
Innovación	0	-1	0
Estética	0	0	0
<b>Puntuación</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

Tabla 7. Evaluación de alternativas para el Sistema de giro. Fuente: Propia.

Las dos soluciones que se mantendrán en el proceso de diseño son: Sistema de **Trinquete** y Sistema de giro con **Rodamiento**.

	ACCIONAMIENTO		
	USUARIO	EXTERIOR	COMBINADO
Simplicidad	0	2	0
Facilidad incorporación	0	2	0
Seguridad	0	0	0
Independencia	0	-2	2
Innovación	0	-2	0
Estética	0	0	0
<b>Puntuación</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>

Tabla 8. Evaluación de alternativas para el Accionamiento. Fuente: Propia.

En esta ocasión se descartarán las dos soluciones con menor puntuación y la única alternativa seleccionada será el método de accionamiento **Combinado**.

Finalmente, tras realizar la selección de alternativas individuales se ha conseguido reducir las combinaciones de soluciones de 144 a 8 mediante el descarte de las alternativas particulares menos viables.



### 7.3. Selección de alternativas combinadas

Una vez descartadas las alternativas anteriores, las soluciones finales para cada componente son:

- |                     |  |
|---------------------|--|
| 1. Estructura:      | A. Estructura Puente.<br>B. Estructura con tejado a dos aguas. |
| 2. Asiento:         | A. Asiento de transferencia.<br>B. Asiento de puerta abatible. |
| 3. Sistema de giro: | A. Sistema de trinquete.<br>B. Sistema de giro con rodamiento. |
| 4. Accionamiento:   | A. Accionamiento combinado.                                    |

Las posibles combinaciones de todas las alternativas particulares serán:

- Opción 1 **AAAA**: Puente + Transferencia + Trinquete + Combinado + Usuario
- Opción 2 **ABAA**: Puente + Puerta + Trinquete + Combinado + Usuario
- Opción 3 **ABBA**: Puente + Puerta + Rodamiento + Combinado + Usuario
- Opción 4 **AABA**: Puente + Transferencia + Rodamiento + Combinado + Usuario
- Opción 5 **BAAA**: Dos aguas + Transferencia + Trinquete + Combinado + Usuario
- Opción 6 **BABA**: Dos aguas + Transferencia + Rodamiento + Combinado + Usuario
- Opción 7 **BBAA**: Dos aguas + Puerta + Trinquete + Combinado + Usuario
- Opción 8 **BBBA**: Dos aguas + Puerta + Rodamiento + Combinado + Usuario

A continuación, se procederá a evaluar cada una de las combinaciones. Para cada opción se valorarán las diferentes necesidades del cliente y cada valor se multiplicará por el porcentaje ponderado expresado en el QFD 1. Después se realizará el sumatorio para cada alternativa, se analizarán las opciones con mayor puntuación y finalmente, se elegirá la solución conceptual sobre la cual se trabajará durante el resto del proceso de diseño.

Cabe destacar que las valoraciones mostradas en la siguiente tabla son totalmente subjetivas en base a la opinión del diseñador, ya que sin tener un diseño final concreto es difícil realizar una valoración objetiva para cada una de las necesidades del cliente. La mayor puntuación será un 5 mientras que la peor será un 0.



ALTERNATIVAS									
NECESIDAD CLIENTE	PONDERACIÓN	AAAA	ABAA	ABBA	AABA	BAAA	BABA	BBAA	BBBA
Facilidad Uso	15%	3	3	4	4	3	4	3	4
Juego Conjunto	15%	4	4	4	4	4	4	4	4
Independencia Uso	10%	4	3	3	4	4	4	3	3
Seguridad Usuario	15%	3	3	3	3	3	3	3	3
Seguridad Persona ext.	10%	3	3	3	3	3	3	3	3
Diversión	12%	3	3	3	3	3	3	3	3
Resistencia entorno	9%	3	3	3	3	4	4	4	4
Diseño Innovador	7%	4	4	4	4	3	2	3	2
Diseño Atractivo	7%	3	3	3	3	2	2	2	2
SUMATORIO		3,32	3,22	<b>3,37</b>	<b>3,47</b>	3,27	<b>3,35</b>	3,17	3,25

Tabla 9. Selección de alternativas combinadas. Fuente: Propia.

Tras realizar las valoraciones para cada alternativa en función de las necesidades del cliente, se procede a analizar las opciones con mayor puntuación obtenidas. Se razonarán aspectos negativos y positivos de cada una con el fin de elegir la alternativa más viable.

Las propuestas que han obtenido mayor puntuación han sido:

- **ABBA** Puente + Puerta + Rodamiento + Combinado + Usuario:

Esta alternativa consta de la estructura en forma de puente o arco, el asiento con puerta abatible y el sistema de giro con rodamiento. El accionamiento no se analizará ya que no varían de una opción a otra.

La principal ventaja de esta propuesta respecto del resto es que el asiento con la puerta abatible garantiza la seguridad durante el uso sin discriminar a ningún tipo de usuario y sin dificultar la incorporación.

Las posibles desventajas serían que el diseño del asiento a pesar de no dificultar la incorporación tampoco propone una solución para facilitarlo.

- **AABA** Puente + Transferencia + Rodamiento + Combinado + Usuario:

La segunda propuesta, la cual ha obtenido la mayor puntuación, es la combinación de la estructura en forma de puente o arco, el asiento de transferencia y el sistema de giro con rodamiento.

La mayor ventaja de esta combinación reside en el diseño del asiento de transferencia, el cual facilita en gran medida la incorporación de una persona en silla de ruedas, sin



embargo habrá que desarrollar este concepto para lograr un asiento que garantice la seguridad y el confort.

- **BABA** Dos aguas + Transferencia + Rodamiento + Combinado + Usuario:

Por último, la tercera alternativa con mayor valoración, es la compuesta por la estructura con tejado a dos aguas, el asiento de transferencia y el giro con rodamiento. La diferencia de esta propuesta en relación con las dos anteriores es la estructura. El diseño con tejado a dos aguas permitirá evacuar el agua fácilmente, sin embargo se trata de una opción poco innovadora y estética en la cual colgar un columpio puede resultar algo complejo.

Tras haber analizado las tres propuestas el proyectista cree conveniente elegir la opción que obtuvo la mayor puntuación. De esta manera la opción seleccionada y sobre la cual se trabajará durante el Diseño Preliminar es la propuesta **AABA: Puente + Transferencia + Rodamiento + Combinado + Usuario.**



## 8. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)

El análisis modal de fallos y efectos (AMFE) es un método preventivo el cual permite realizar un análisis exhaustivo del diseño y detectar los posibles fallos de cada componente antes de que el producto final salga al mercado. De manera general, este método intenta conseguir la máxima calidad posible así como la seguridad para el usuario. Cabe destacar que existen dos tipos de AMFE, el de diseño y el de procesos, sin embargo, en el presente trabajo tan solo se desarrollará el de diseño, ya que los procesos de fabricación quedan fuera del alcance del proyecto.

Este apartado ha sido realizado de manera paralela con el diseño preliminar, por lo que es posible que existan componentes no citados hasta ahora que hayan sido creados para satisfacer diferentes necesidades durante el diseño preliminar.

Un fallo en un componente conlleva al mal funcionamiento de acuerdo con los requerimientos del producto que se ha diseñado. El modo de fallo, es la manera en que se produce dicho fallo. Es importante analizar tanto las causas del fallo como los efectos que este produce.

Este método centra su atención en las siguientes cuestiones:

- ¿Qué puede salir mal en la fabricación y durante la vida útil del producto?
- ¿En qué grado puede salir mal?
- ¿Cómo ha fallado el componente o sistema?
- ¿Qué se debe hacer para evitarlo?

Mediante la aplicación de esta herramienta no solo se determinan los modos de fallo de los componentes, sino también sus posibles efectos y su gravedad. Además sirve de utilidad para conocer en profundidad el funcionamiento de los componentes, posibles materiales, especificaciones y que tipo de ensayos se deben realizar.

Las fases del método AMFE son las siguientes:

- Documentación obtenida del proceso de diseño.
- Análisis funcional de los componentes, posibles fallos, causas y efectos que supondrían para el usuario.
- Estimación de la frecuencia de cada fallo.
- Posibles medidas de detección de fallos.
- Puntuación de las características de las fases anteriores.
- Planes de mejora.

Los diferentes bloques de los que consta el columpio son: estructura, asiento, plataforma y sistema de giro. Dentro de cada bloque existirán diferentes componentes y se analizarán sus modos de fallo, las causas y métodos de detección, los efectos y por último se puntuará cada causa. El sistema de puntuaciones se explica a continuación:

- **F:** frecuencia con la que aparece el fallo debido a una causa. Puntuación del 1 al 10, siendo el 10 la frecuencia más alta.
- **G:** gravedad del fallo según su efecto. Puntuación del 1 al 10, siendo el 10 la gravedad más alta.

- **D:** probabilidad de detección del fallo antes de que llegue al cliente. Puntuación del 1 al 10, siendo el 10 la probabilidad más baja.
- **NPR:** Índice de prioridad de riesgo. Resultado de multiplicar los tres índices anteriores. Su valor estará comprendido entre 1 y 1000.

Del estudio del método AMFE habrá que prestar mayor atención o mejorar aquellos componentes en los que el NRP supere el valor 100 o bien alguno de los índices F,G y D tenga la valoración 10.

### 8.1. Estructura completa

Se presenta a continuación la tabla AMFE para el conjunto de la estructura más la cubierta o tejado:

COMPONENTE		Modo de fallo	Causa	Detección	Efecto	F	G	D	NPR
ESTRUCTURA COMPLETA	CUBIERTA	Filtración agua	Mal dimensionamiento	Visual	Oxidación componentes	3	3	6	54
					Molestar usuario	3	4	6	72
		Agrietamiento	Mala elección y apriete tornillería	Visual	Posible rotura ante cargas	2	8	4	64
		Deformación	Mal dimensionamiento	Ensayos	Reducción vida útil componente	2	3	2	12
			Uso indebido	Visual	Posible rotura	1	5	7	35
		Rotura	Material defectuoso	Examen propiedades	Daño usuario	1	9	3	27
			Uso indebido	Visual	Daño usuario	2	9	5	90
	ESTRUCTURA	Oxidación	Mala elección material	Examen de propiedades	Mala apariencia	2	8	2	32
		Pandeo	Mal dimensionamiento	Ensayos	Falta de seguridad	6	8	2	96
			Mal reparto de cargas			7	8	2	112
		Colapso	Mal dimensionamiento	Ensayos	Peligro crítico usuario	6	10	2	120
			Uso indebido			7	10	2	140

Tabla 10. AMFE para el conjunto de la Estructura completa. Fuente: Propia.

## 8.2. Asiento

Se presenta el AMFE para el conjunto del asiento:

COMPONENTE		Modo de fallo	Causa	Detección	Efecto	F	G	D	NPR
ASIENTO	RESPALDO	Agrietamiento	Mala elección y apriete tornillería	Visual	Posible rotura	2	5	2	20
			Mala elección material	Examen propiedades		3	5	2	30
		Rotura	Mal dimensionamiento	Visual	Peligro usuario	1	8	3	24
	PARTE MÓVIL	Deformación	Mal diseño preliminar	Ensayos	Mal funcionamiento	6	7	3	126
			Mala elección material	Examen propiedades		7	7	3	147
		No deslizamiento	Mal diseño preliminar	Ensayos	Mal funcionamiento	7	5	3	105
			Mal acabado de piezas	Visual		7	4	4	112
		Rotura	Mal dimensionamiento	Ensayos	Peligro usuario	7	8	3	168
			Mala elección material	Examen propiedades		5	8	2	80
	PARTE FIJA	Agrietamiento	Mala elección y apriete tornillería	Visual	Posible rotura	2	5	2	20
			Mala elección material	Examen propiedades		3	5	2	30
		Defomación	Mal diseño preliminar	Ensayos	Mal funcionamiento	5	3	2	30
			Mala elección material	Examen propiedades		4	3	2	24
	EJE CREMALLERA	Desencaje	Mala unión de componentes	Ensayos	No funcional	2	8	4	64
		Rotura	Mala elección de materiales	Examen de propiedades	No funcional	4	8	3	96

Tabla 11. AMFE para el conjunto del Asiento. Fuente: Propia.

### 8.3. Plataforma

Este componente no ha sido citado hasta el momento. Se ha decidido incorporarlo durante el diseño preliminar, el cuál estará explicado en el apartado 9 de la presente memoria. Se trata de una plataforma en la que los niños podrán montarse de pie como una alternativa al asiento. El objetivo de este elemento es fomentar el juego conjunto de niños discapacitados (los cuales podrán usar los asientos) y niños sin discapacidad (que podrán usar tanto la plataforma como los asientos).

A continuación se expone el AMFE para este componente:

COMPONENTE	Modo de fallo	Causa	Detección	Efecto	F	G	D	NPR
PLATAFORMA	Desencaje	Mal dimensionamiento	Ensayos	Peligro usuario	2	8	2	32
		Mala elección y apriete tornillería	Visual		2	8	3	48
	Deformación	Mal dimensionamiento	Ensayos	Reducción vida útil	2	6	2	24
		Mala elección material	Examen de propiedades	Fallo estético	2	2	2	8
	Rotura	Uso indebido	Ensayos	Peligro usuario	6	7	2	84
		Material defectuoso	Visual		1	7	7	49
		Mal diseño	Ensayos		3	7	2	42

Tabla 12. AMFE para Plataforma. Fuente: Propia.

#### 8.4. Sistema de giro

Se presenta el AMFE para el conjunto del sistema de giro:

COMPONENTE		Modo de fallo	Causa	Detección	Efecto	F	G	D	NPR
SISTEMA DE GIRO	EJE	Deformación	Mala elección material	Examen propiedades	Inseguridad usuario	3	7	2	42
			Mal dimensionamiento	Ensayos		4	7	4	112
		Rotura	Mal dimensionamiento	Ensayos	Peligro usuario	3	9	5	135
	SOPORTE	Deformación	Mala elección material	Examen propiedades	Fallo en giro	2	6	2	24
	RODAMIENTO	Chirrido	Mala alineación eje - rodamiento	Ruido	Molestia	2	5	2	20
		Desgaste	Mala alineación componentes	Visual	Mal funcionamiento	2	5	2	20
		Rotura	Cálculo erróneo	Ensayos	No funcionamiento	2	8	2	32
	CARCASA	Desencaje	Mala elección tornillería	Ensayos	No funcionamiento	2	6	3	36

Tabla 13. AMFE para el sistema de giro. Fuente: Propia.

## 8.5. Conclusiones

Una vez se han realizado el Análisis Modal de Fallos y Efectos para cada uno de los componentes más importantes, se listan las principales conclusiones obtenidas. Los componentes que permiten el accionamiento del columpio no han sido estudiados en el AMFE ya que son elementos que no van presentar modos de fallo significativos. Sin embargo, estos componentes se explicarán de manera detallada durante el Diseño Preliminar.

Estas son las conclusiones obtenidas y que darán información muy útil para desarrollar el Diseño Preliminar:

### **ESTRUCTURA**

- **Pandeo** de elementos de la **estructura** debido a un mal reparto de cargas. (NPR = 112)

Para eliminar este posible fallo se deberán realizar ensayos de fuerza y cálculos de la estructura, para ver que componentes pueden pandear lo que supondría una gran inseguridad para los usuarios. Obviamente, con este fallo el diseño de la estructura no podrá ser validado. La estructura no sólo deberá ser segura si no que debe parecerlo.

Para evitar este fallo se podrán rediseñar algunas barras con el fin de que se repartan las cargas de diferente manera y logre evitar el pandeo de éstas, o bien evitar que la estructura sea la que soporte el peso de los usuarios.

- **Colapso** de la **estructura** debido a un mal dimensionamiento. (NPR = 120)

Naturalmente, un diseño en el que la estructura corra el peligro de colapso no será validado. Por lo tanto se realizarán ensayos de fuerza y cálculos para garantizar la seguridad. En el caso de que la estructura no supere estos ensayos se intentará redimensionar los componentes de ella para lograr un coeficiente de seguridad óptimo.

- **Colapso** de la **estructura** debido a uso indebido. (NPR = 140)

A la hora de diseñar la estructura y realizar los debidos cálculos y ensayos el proyectista deberá tener en cuenta las cargas por uso indebido, ya que es muy probable que sobre el columpio se monten más usuarios de los debidos, exista vandalismo, etc.

Para subsanar este posible modo de fallo se tendrán en cuenta coeficientes de mayoración de cargas en el momento de realizar análisis de fuerzas.

### **ASIENTO: Parte móvil**

- **Deformación** del componente por mal diseño preliminar. (NPR = 126)

Una vez se tenga el diseño inicial del asiento, se realizarán ensayos de fuerzas para ver si este soporta el peso del usuario. Una deformación del componente móvil significará





que el asiento completo no pueda realizar su función principal. En este caso, el diseñador deberá modificar el diseño preliminar para conseguir una mayor resistencia del componente.

- **Deformación** del componente por mala selección del material. (NPR = 147)

Otra manera de solventar este modo de fallo puede ser elegir un material adecuado. En el apartado del Diseño Preliminar, se explicarán las diferentes propiedades de cada material seleccionado y se realizarán probaturas para seleccionar el mejor material posible.

- **No deslizamiento** debido a un mal diseño preliminar. (NPR = 105)

Uno de los posibles fallos para este componente es que la parte móvil del asiento no deslice debido al peso del usuario. Se deberá cambiar el diseño inicial para conseguir una unión deslizante entre los dos componentes del asiento.

- **No deslizamiento** debido al acabado de los componentes. (NPR = 112)

Otra de las causas para el anterior fallo es el acabado superficial de las piezas en cuestión. Un buen acabado puede suponer mayor facilidad para el movimiento relativo entre ambas.

- **Rotura** del componente debido a mal dimensionamiento. (NPR = 168)

El fallo más grave para este componente es la rotura del componente móvil ya que la seguridad del usuario se vería afectada. Se realizarán análisis de fuerzas para ver si el componente es resistente ante la carga generada por el usuario. En caso negativo, se deberá rediseñar el componente y proponer soluciones funcionales que solventen este problema.

#### **SISTEMA DE GIRO: Eje Giratorio (Base Giratoria)**

- **Deformación** debida a un mal dimensionamiento. (NPR = 112)

Se deberán realizar cálculos y ensayos sobre este elemento para evitar que se deforme debido al peso de los usuarios. Este fallo podría suponer una inseguridad para el usuario, así como una posible rotura a largo plazo.

- **Rotura** debida aun mal dimensionamiento. (NPR = 135)

La rotura de este componente además de comprometer la seguridad del usuario, inhabilitaría el funcionamiento del columpio por lo que es un modo de fallo crítico. Se deberán realizar los cálculos y ensayos pertinentes, tanto ante una carga estática como a fatiga.

## 9. DISEÑO PRELIMINAR

A continuación se pretende realizar el diseño preliminar del columpio completo. Gracias a la información obtenida en todas las etapas anteriores se conseguirá desarrollar el diseño conceptual. Como se ha citado anteriormente, este apartado ha sido realizado al mismo tiempo que el *Ánisis Modal de Fallos y Efectos* de manera que la información resultante de este método ha podido ser utilizada durante el diseño preliminar. De esta manera, para cada componente, se decidirán dimensiones y materiales, en base a cálculos y ensayos de fuerza realizados. En conclusión, este apartado pretende definir el diseño conceptual seleccionado y convertirlo en un diseño totalmente funcional.

El software en el que se dibujarán las diferentes piezas será *SolidWorks 2017* y los diferentes ensayos de fuerza se realizarán gracias a la herramienta *SolidWorks Simulation 2017*.

### 9.1. Consideraciones generales

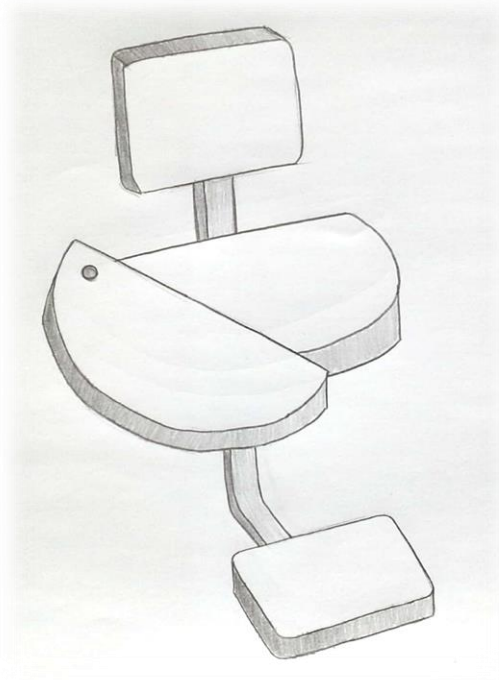
Antes de entrar de lleno en el diseño preliminar de los diferentes componentes, el diseñador ha decidido tomar una serie de consideraciones en cuanto al funcionamiento del columpio:

- Durante el proyecto se ha utilizado el término “columpio”, sin embargo, es posible que el diseño desemboque en un tiovivo, carrusel giratorio o plataforma.
- Se ha decidido que la capacidad del columpio sea para **cuatro usuarios**, dos en los asientos, y dos de pie en las plataformas. El motivo principal de esta decisión es fomentar el juego conjunto entre niños.
- A la hora de realizar los ensayos de fuerzas el **peso** asignado para cada **usuario** será de **100 kg**. De esta manera, la situación analizada será totalmente desfavorable. Además se utilizarán coeficientes de mayoración de cargas.

### 9.2. Asiento

El asiento es el componente sobre el que tanto los usuarios con discapacidad como los usuarios sin discapacidad van a poder sentarse durante la utilización del columpio. Tras realizar la selección de alternativas del diseño conceptual, la solución obtenida para este componente ha sido el asiento de transferencia.

El asiento cuenta con una parte móvil la cual se desplaza sobre otra fija para que un usuario en silla de ruedas pueda incorporarse con mayor facilidad. Cabe destacar que el diseño preliminar cambiará notablemente respecto del boceto presentado en el apartado 7.1.2, sin embargo, el concepto será el mismo. Se expone una imagen para recordar el boceto seleccionado.



*Ilustración 35. Boceto del asiento de transferencia. Fuente: Propia.*

A continuación se muestra un asiento de transferencia para un automóvil.



*Tabla 14. Asiento de transferencia en automóvil. Fuente: Google Imágenes.*

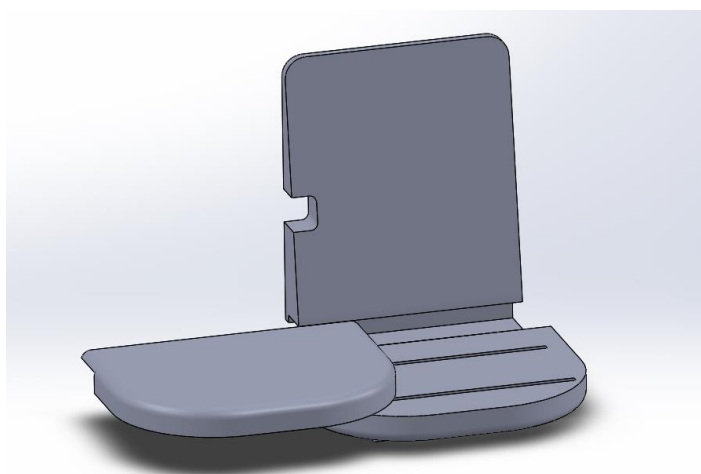
Una vez recordado el boceto seleccionado, se comienza a diseñar el componente. En primer lugar, se realizará un diseño inicial en *SolidWorks*, el cual servirá de base para entender el funcionamiento de este. Además, se realizarán unos primeros cálculos de dimensionamiento. En segundo lugar, se estudiarán los resultados obtenidos en el *Ánisis Modal de Fallos y Efectos*

para el asiento. Gracias a los resultados de este método, el proyectista será capaz de subsanar los fallos del diseño inicial implantando cambios y mejoras en el componente.

Paralelamente, se realizarán ensayos de fuerzas para ver la resistencia de cada una de las piezas que conforman el asiento. Además, se seleccionarán los materiales óptimos para garantizar la calidad del componente.

### 9.2.1. Diseño Inicial

Como se ha explicado anteriormente se ha realizado un diseño inicial para tener claro el funcionamiento del componente. En primer lugar se han dibujado las dos piezas que conforman el asiento de transferencia como tal, así como el respaldo.



*Ilustración 36. Vista primer diseño preliminar para el asiento. Fuente: Propia.*

Como se observa en la imagen, el asiento está conformado por dos piezas, una móvil y otra fija. Esta última presenta dos ranurados sobre los que se moverá el componente móvil.

Dos aspectos a tener en cuenta son que el elemento móvil deberá soportar el peso del usuario, y además una vez el usuario se haya colocado sobre el asiento, deberá ser capaz de deslizarse hacia su posición final. Estos dos aspectos serán abordados más adelante, cuando se realicen ensayos de fuerzas y se realicen mejoras del diseño en el caso de que el diseño de estos componentes no pueda ser validado.

Posteriormente, se ha dibujado uno de los reposabrazos. Hay que tener en cuenta que el asiento deberá contar con dos barreras en sus laterales para evitar que el usuario se caiga, sin embargo, a la hora de facilitar la entrada, el lateral por el que se despliega el elemento de transferencia deberá estar libre. Es decir, existirá un reposabrazos fijo y otro móvil.

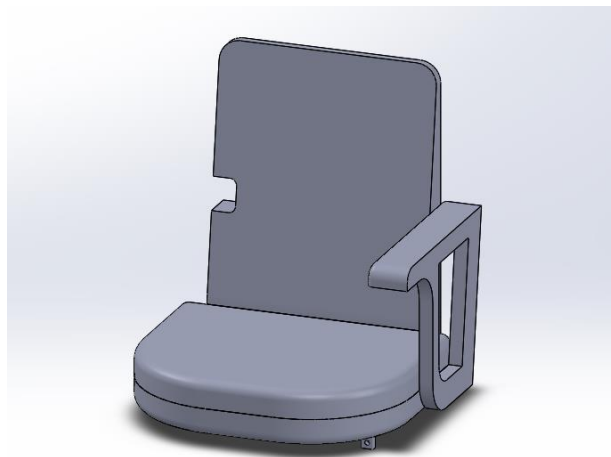


Ilustración 37. Vista del asiento con reposabrazos fijo. Fuente: Propia.

Cabe destacar que el asiento es de uso preferente para niños, por lo que las dimensiones principales que han sido proyectadas en este diseño inicial son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
Dimensión	Valor
Anchura del asiento	40 cm
Altura del respaldo	45 cm
Anchura del respaldo	32 cm
Inclinación del respaldo	8 °
Altura del reposabrazos	17 cm

Tabla 15. Dimensiones principales del asiento. Fuente: Propia.

Una vez se ha incorporado el reposabrazos fijo, se debe diseñar el reposabrazos móvil. La principal dificultad de este elemento, es que debe moverse al mismo tiempo que el movimiento lineal del elemento de transferencia y una vez este se encuentre desplegado en su totalidad, el reposabrazos no debiera interferir en la incorporación del usuario.

La solución inicial planteada es un elemento tipo piñón-cremallera. Mediante este mecanismo, mientras el elemento de transferencia se mueva de manera lineal, el reposabrazos podrá moverse de manera rotacional.

Se comenzará diseñando la cremallera, la cual se encontrará en la parte posterior del elemento de transferencia. En primer lugar se colocará éste elemento en sus posiciones extremas, es decir, cuando se encuentra plegado y cuando se encuentra desplegado. En cada una de estas posiciones se dibujará un saliente que conformarán los extremos de la cremallera.

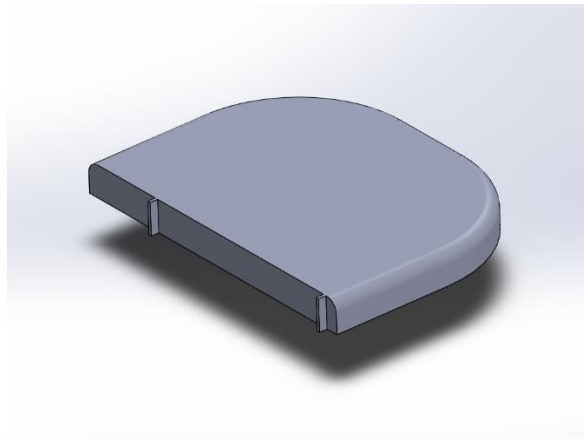


Tabla 16. Vista de las posiciones extremas de la cremallera. Fuente: Propia.

Una vez realizados los dos salientes extremos que conformarán la cremallera se medirá la distancia entre ambos y con esta distancia se calculará el radio necesario para el piñón.

- Longitud cremallera: L = **275 mm**
- Radio piñón : r

Mediante la ecuación para el perímetro de una circunferencia se calcula el radio del piñón, pero se dividirá entre dos ya que se quiere que la cremallera recorra tan solo la mitad de la circunferencia. Esta decisión se ha tomado ya que el reposabrazos girará 180° desde su posición natural para no entorpecer la incorporación del usuario.

$$L = \frac{2 \times \pi \times r}{2}$$

$$r = 87,5 \text{ mm} \approx \mathbf{88 \text{ mm}}$$

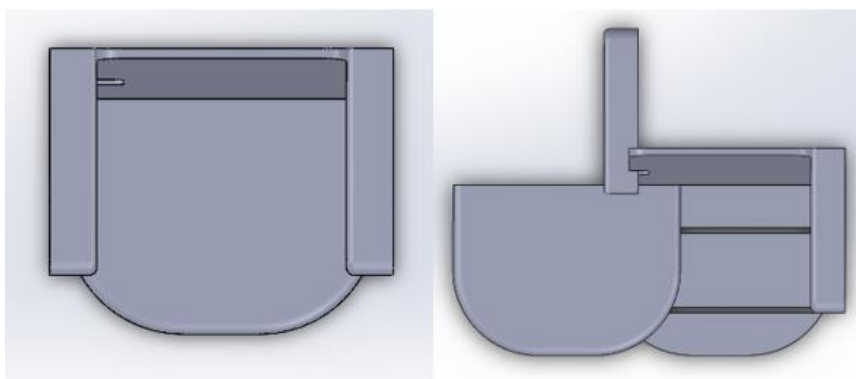


Ilustración 38. Vista en planta de las dos posiciones para el reposabrazos. Fuente: Propia.

Posteriormente se ha diseñado un eje sobre el cual girará el reposabrazos móvil, el cual irá unido al piñón. Los dientes del piñón serán diseñados de manera orientativa y si más adelante surgen

errores el diseño se modificará. A continuación se muestra unas ilustraciones del piñón junto con el eje.

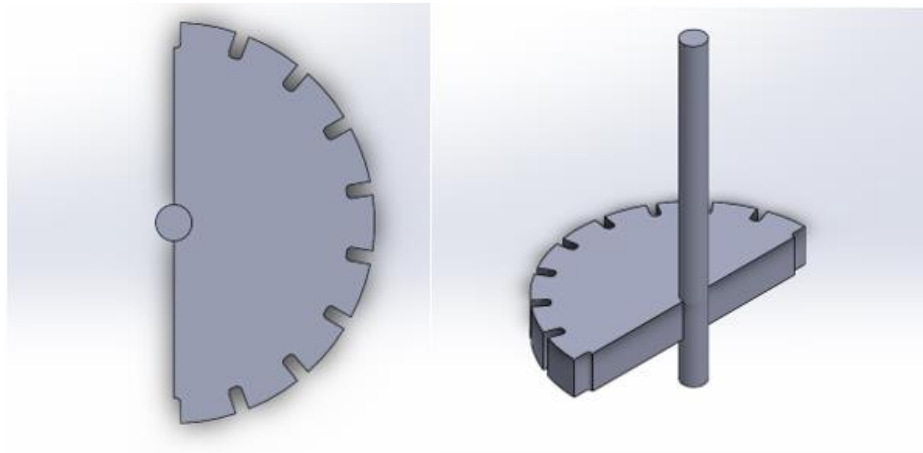


Ilustración 39. Vista en planta e isométrica del eje-piñón. Fuente: Propia.

Como se ha comentado anteriormente el radio del piñón es de 88 mm y las separación entre dientes es de **20 °** valor que nos servirá para dimensionar los ranurados en la cremallera. Por lo tanto, la separación entre cada ranura de la cremallera será:

$$20(^{\circ}) \times \frac{2 \times \pi \text{ (rad)}}{360 (^{\circ})} \times 88 \text{ (mm)} = \mathbf{30,7 \text{ mm}}$$

Esta será la separación entre cada instancia de la cremallera para que sea capaz de engranar con el piñón. El número de instancias de la cremallera será 9, suficientes para que el piñón gire los 180 ° necesarios.

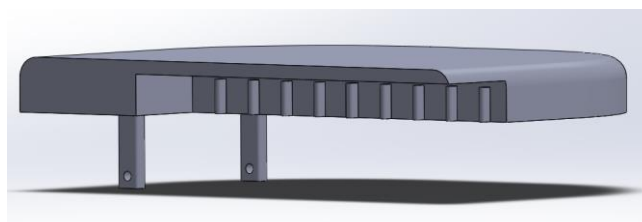
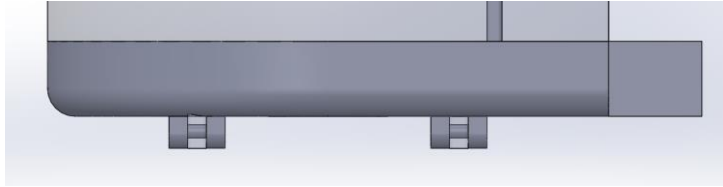


Ilustración 40. Vista de la cremallera. Fuente: Propia.

El diseño del reposabrazos móvil sigue la línea del reposabrazos fijo. Tan solo se ha modificado levemente para evitar que el componente móvil del asiento choque con el reposabrazos.

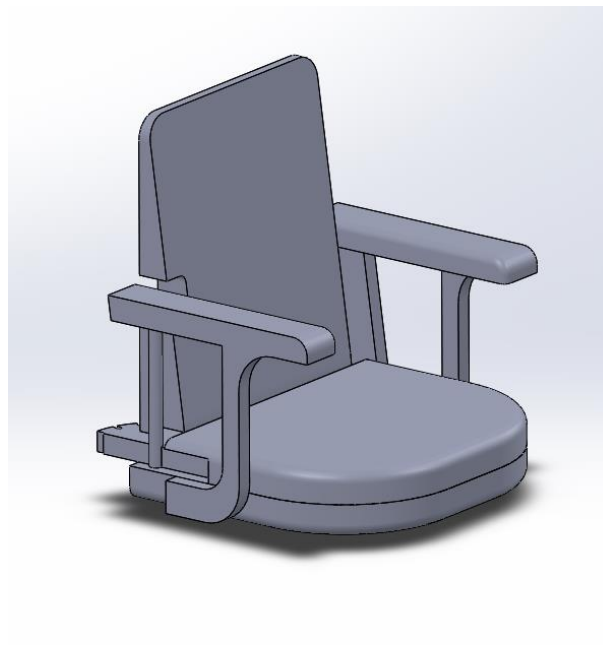
Por último, se han incluido dos pasadores y dos topes para que el componente móvil no se desprenda del elemento fijo. Estos componentes deberán ser fabricados de un material altamente resistente ya que sufrirán altas tensiones durante la incorporación del usuario.

Además, la unión de estos componentes deberá ser suficientemente rígida. Tanto la elección de material como del tipo de unión entre componentes serán analizadas en los siguientes apartados.



*Ilustración 41. Vista lateral de los pasadores y topes. Fuente: Propia.*

El diseño inicial para el asiento quedaría de la siguiente manera:



*Ilustración 42. Diseño inicial para el asiento. Fuente: Propia.*

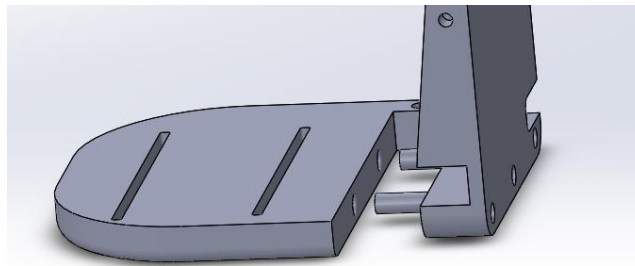


### 9.2.2. Unión entre componentes

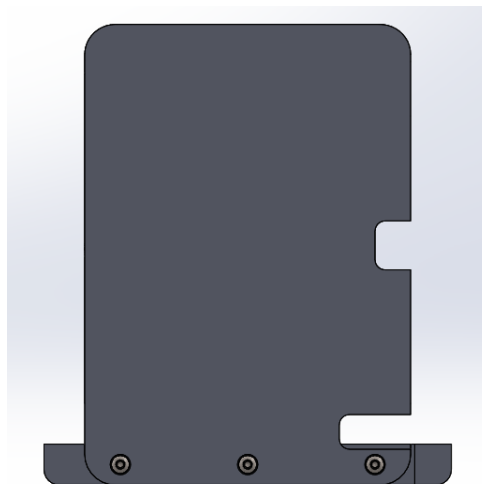
En el siguiente apartado se explicará como han sido unidos los diferentes componentes que conforman el asiento completo. Este apartado ha sido realizado de manera paralela con el siguiente, 9.2.3. *Elección de materiales*.

#### 1. Unión entre respaldo y elemento fijo del asiento.

La primera unión a realizar será la unión entre el respaldo y componente del asiento que permanece fijo. La elección tomada es que los componentes vayan incorporados a presión y además atornillados. Para la junta a presión se ha diseñado dos ejes en el respaldo y dos agujeros en el asiento, ambos con el mismo diámetro para que no exista juego. Para la unión atornillada se han elegido unos tornillos de cabeza semiesférica hexagonal hueca *ISO 7380 M10* y 40 mm de largura. Es importante que las cabezas de los tornillos no sobresalgan para evitar posibles daños a los usuarios según normativa.



*Ilustración 43. Vista de la unión a presión entre componentes. Fuente: Propia.*

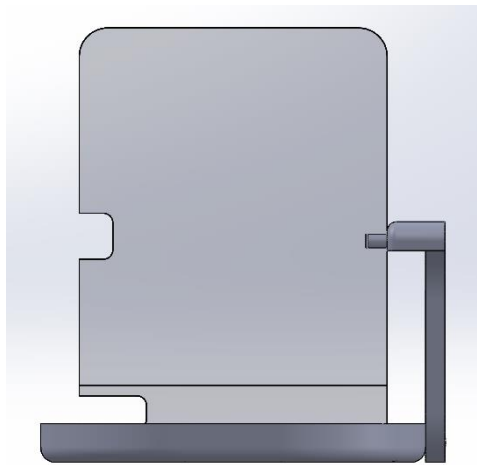


*Ilustración 44. Vista trasera de la unión atornillada entre componentes. Fuente: Propia.*

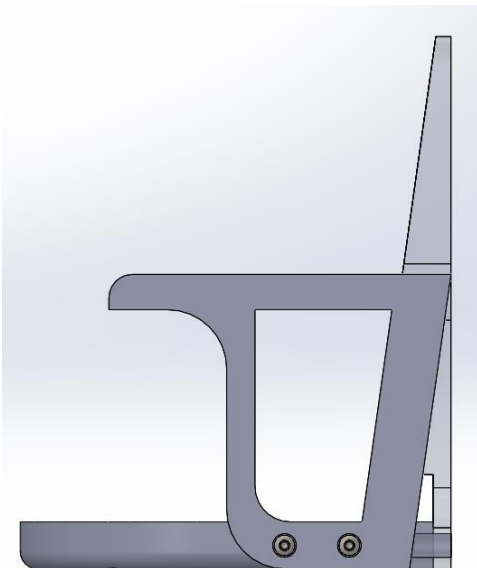
Cabe destacar que el material de los componentes del asiento será un material plástico, por lo que la elección del material será clave para que se pueda atornillar sin problemas. La elección del material se expondrá en el próximo apartado del presente proyecto.

## 2. Unión entre reposabrazos fijo – respaldo – asiento fijo.

La unión entre estos dos componentes se va a realizar de la misma forma que la explicada anteriormente, existirá una unión a presión y otra atornillada. La unión entre el reposabrazos y el respaldo se realizará a presión, mientras que la unión entre el reposabrazos y el elemento fijo del asiento irá atornillada. Los tornillos seleccionados son los mismos que en la unión anterior.



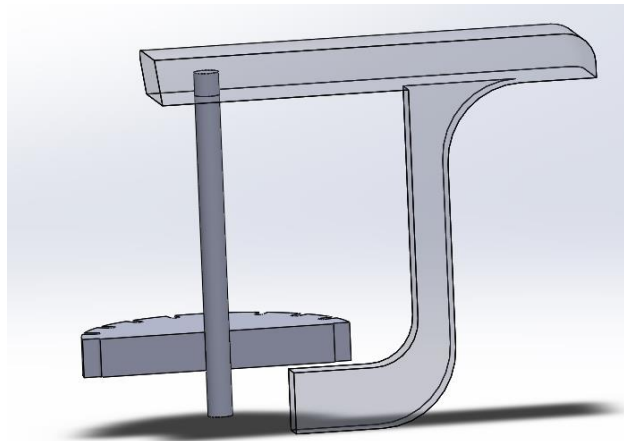
*Ilustración 45. Vista frontal de la unión a presión de componentes. Fuente: Propia.*



*Ilustración 46. Vista lateral de la unión atornillada entre componentes. Fuente: Propia.*

### 3. Unión eje-piñón y reposabrazos móvil.

Esta última unión entre el eje-piñón y el reposabrazos móvil deberá ser una unión totalmente rígida ya que ambos componentes girarán conjuntamente. Por lo tanto ambos componentes estarán unidos a presión y además puede ser una alternativa la incorporación de un adhesivo para reforzar la unión. Ya que el material seleccionado es polietileno de alta densidad (PEAD), del cual se hablará más en profundidad en el próximo apartado, la elección de un adhesivo capaz de pegar este tipo de plásticos será clave. Uno de los adhesivos que se podrían usar sería un *Permabond TA4610*, el cual es un adhesivo acrílico capaz de adherir plásticos difíciles como el polietileno o polipropileno sin necesidad de ningún tratamiento superficial previo.



*Ilustración 47. Vista de la unión entre componentes. Fuente: Propia.*

### 9.2.3. Elección de materiales

En este apartado se comentarán los motivos de la elección de los materiales y se realizará una descripción de las propiedades de cada uno.

En primer lugar se ha decidido seleccionar el **Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE)** para las siguientes piezas: reposabrazos fijo, reposabrazos móvil y respaldo. El motivo de esta elección es que se trata de un material muy común para elementos de parques infantiles. Sus principales características son su excelente resistencia térmica y química así como su gran resistencia a los impactos. Además, su alta densidad permitirá realizar uniones atornilladas. A continuación se expone una tabla con sus principales propiedades. La información relativa a este material ha sido obtenida de la base de datos sobre materiales realizada por la *Universitat de Barcelona* [9]. Algunas de las propiedades se darán en un intervalo ya que dependerá de la conformación de dicho material.

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	
Propiedades generales	
Densidad	0.952 – 0.965 g/cm <sup>3</sup>
Cristalinidad	70 – 80 %
Precio	1.26 – 1.39 €/kg
Propiedades mecánicas	
Módulo elástico	1.07 – 1.09 GPa
Coeficiente Poisson	0.41 – 0.427
Tension de fluencia	24 MPa
Resistencia a compresión	18.6 – 24.8 MPa
Resistencia a flexión	30.9 – 43.4 MPa
Resistencia a tracción	22.1 – 31 MPa
Propiedades térmicas	
Temperatura de fusión	130 – 137 °C
Otras	
Conformación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrusión – soplado</li> <li>- Inyección</li> <li>- Sinterización rotacional</li> <li>- Lecho fluidizado</li> </ul>
Reciclabilidad	Es un material reciclable

Tabla 17. Propiedades del polietileno de alta densidad. Fuente: [9]

En segundo lugar se ha decidido seleccionar el material **Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS)** para las siguientes piezas: asiento móvil, asiento fijo, eje-piñón, pasador y tope. El motivo de esta elección es su mayor resistencia mecánica en comparación con el polietileno, su gran tenacidad y la posibilidad de recubrirlo con una capa metálica con facilidad. A continuación se expone una tabla con sus principales propiedades. La información relativa a este material ha sido obtenida de la base de datos sobre materiales realizada por la *Universitat de Barcelona* [9].

<b>Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno ABS</b>	
<b>Propiedades generales</b>	
<b>Densidad</b>	1.01 - 1021 g/cm <sup>3</sup>
<b>Cristalinidad</b>	Amorfo
<b>Precio</b>	1.59 – 1.74 €/kg
<b>Propiedades mecánicas</b>	
<b>Módulo elástico</b>	1.1 – 2.9 GPa
<b>Coeficiente Poisson</b>	0.391 – 0.422
<b>Tensión de fluencia</b>	42 MPa
<b>Resistencia a compresión</b>	31 – 86.2 MPa
<b>Resistencia a flexión</b>	47.8 – 76 MPa
<b>Resistencia a tracción</b>	27.6 – 55.2 MPa
<b>Propiedades térmicas</b>	
<b>Temperatura de fusión</b>	200 - 245 ° C
<b>Temperatura transición vítrea</b>	87.9 – 118 ° C
<b>Otras</b>	
<b>Conformación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrusión o termoconformado</li> <li>- Moldeado por inyección</li> <li>- Soplado</li> <li>- Prensado</li> </ul>
<b>Reciclabilidad</b>	Es un material reciclable

#### 9.2.4. Ensayo de fuerzas inicial

Gracias a la información obtenida en el *Análisis Modal de Fallos y Efectos* se ha podido comprobar que el conjunto del asiento es un componente crítico en la generación de posibles fallos. Por lo tanto, en este apartado se pretende realizar un primer ensayo de fuerzas para ver como responde el diseño inicial realizado y los materiales seleccionados. En caso de no poder validar el diseño, en el próximo apartado se realizarán las modificaciones adecuadas.

Los análisis de fuerzas se realizarán mediante *SolidWorks Simulation 2017*. Se podrán consultar todos los análisis de fuerzas realizados durante el proyecto de manera detallada en el apartado 12. *Informes de Ensayos*.

#### **ENSAYO 1: Peso Usuario sobre componente móvil**

En este primer análisis se observará como reacciona el conjunto del asiento ante la carga generada por el peso del usuario en el momento de su incorporación al asiento de transferencia. Una vez se han incorporado los materiales seleccionados en el apartado anterior se comienza el análisis estático. En primer lugar, el software calcula las conexiones mediante componentes como uniones rígidas y las uniones atornilladas, como tal. En segundo lugar se realizan las sujeciones adecuadas para el conjunto. En este caso, se han incorporado cuatro sujeciones, en los cuatro agujeros de la parte inferior del elemento fijo del asiento en los que irá atornillado al sistema de giro.

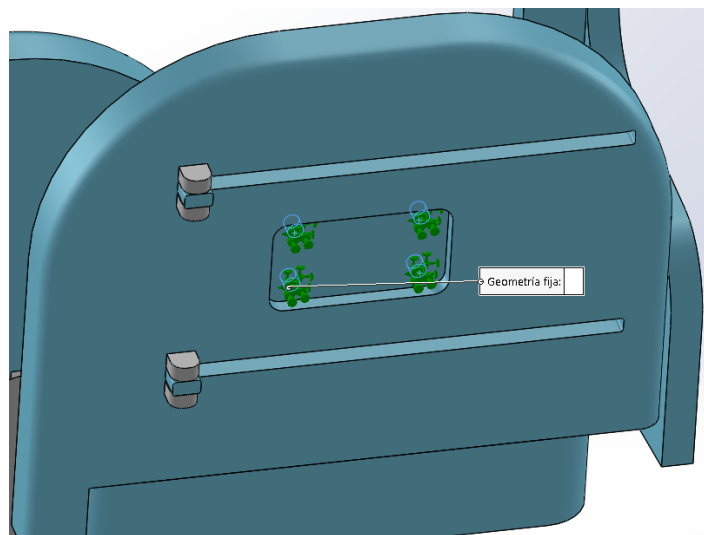
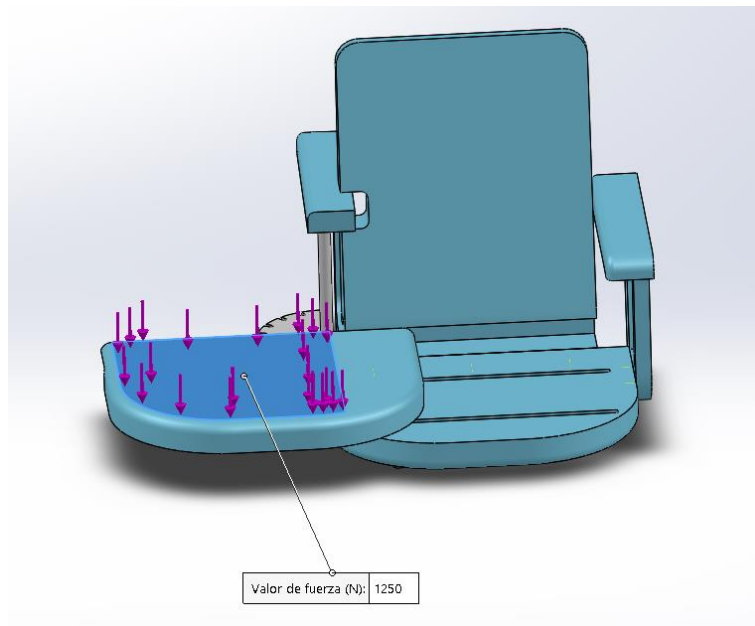


Ilustración 48. Vista de las sujeciones en la parte inferior. Fuente: Propia.

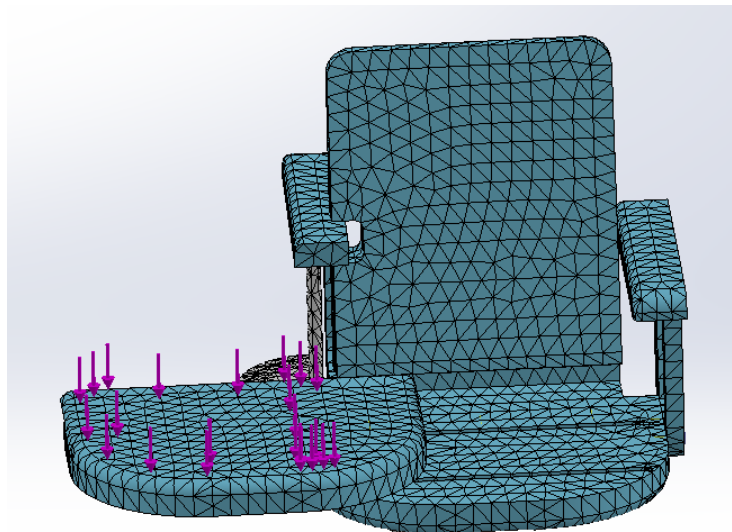
Para la incorporación de la carga se ha realizado una línea de partición para dividir la cara del elemento móvil del asiento en la que actuará el peso del usuario. Como se ha citado en las consideraciones generales de este apartado, el peso de usuario será de **100 kg**, y se utilizará un

coeficiente de mayoración de **1,25** para tener en cuenta el uso indebido. De esta forma, la carga a incorporar tendrá un valor de **1250 N** y su dirección será vertical.



*Ilustración 49. Vista de la incorporación de la carga para el ensayo 1. Fuente: Propia.*

Posteriormente se ha realizado un mallado básico para cada uno de los componentes que conforman el asiento.



*Ilustración 50. Vista del mallado de los componentes. Fuente: Propia.*

Una vez se han realizado todos los pasos descritos, se ejecuta el análisis estático. A continuación se comentan los resultados obtenidos. Se analizarán los resultados en base a la tensión de Von

Mises, Desplazamientos y Factor de seguridad. Se realizarán comparaciones con las propiedades mecánicas del material para observar como se comporta los componentes críticos.

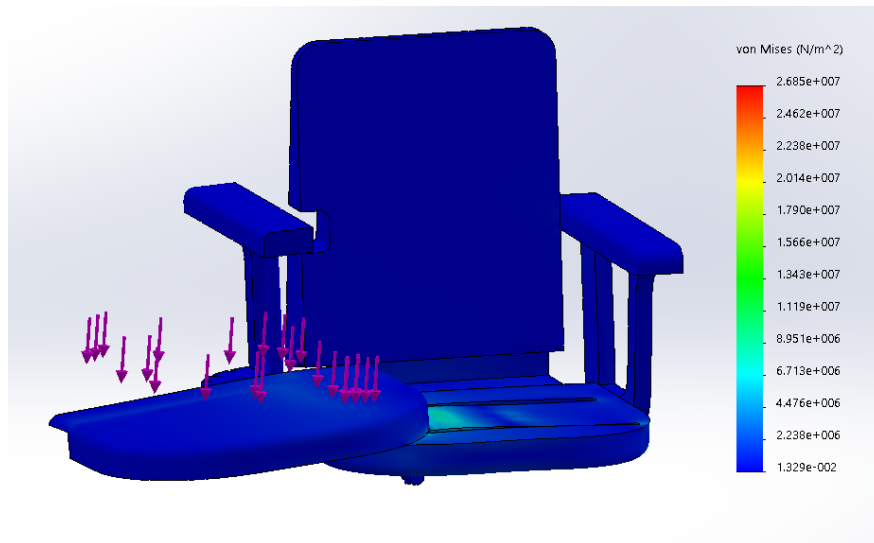


Ilustración 51. Tensión de von mises para el conjunto del asiento. Fuente: Propia.

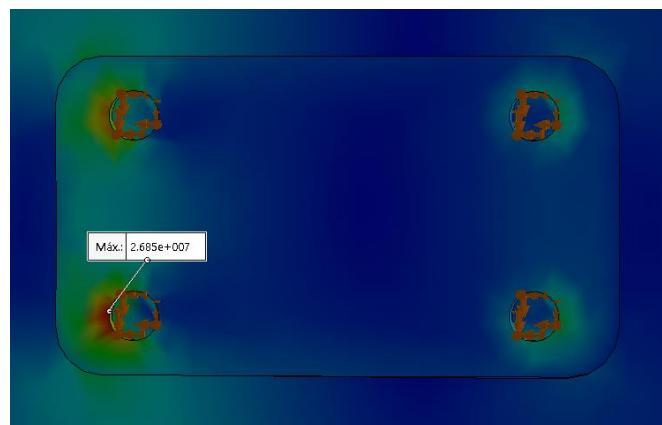


Ilustración 52. Vista de la tensión máxima de Von Mises. Fuente: Propia.

El primero de los resultados obtenidos son las tensiones de Von Mises que ha experimentado el material tras la aplicación de la carga. Ya que el material no presenta un límite elástico concreto, el máximo valor de Von Mises obtenido se comparará con la tensión de fluencia del material y su resistencia a diferentes tipos de esfuerzo. El valor máximo de Von Mises ha sido **26,8 MPa**, y se ha dado en los agujeros donde se realiza la unión atornillada inferior con el resto del columpio (ilustración 52). Este valor es inferior a la tensión de fluencia del **ABS** y a la resistencia a compresión, flexión y tracción. Por lo tanto, ningún material llegará a romperse debido a esta carga, el cual era uno de los posibles modos de fallo analizados en el AMFE. No ocurrirá lo mismo en el caso de las deformaciones producidas en el material.



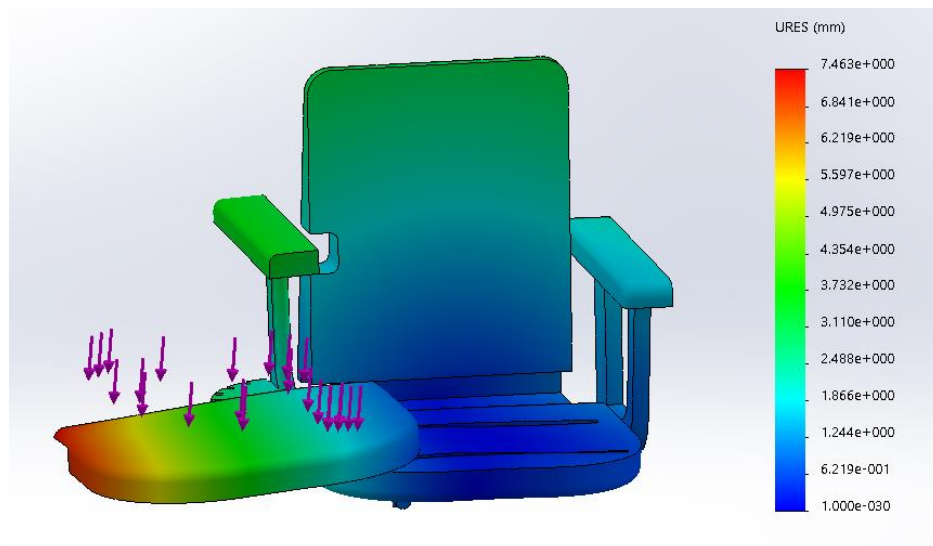


Ilustración 53. Vista de las deformaciones producidas en el conjunto del asiento. Fuente: Propia.

La ilustración 53 muestra los desplazamientos (mm) que se han producido en los componentes. El desplazamiento máximo que se ha dado ha sido de **7 mm** y se producido en el extremo del componente móvil del asiento, como se puede apreciar en la imagen. Este fallo obtenido concuerda con la información obtenida en el AMFE, este desplazamiento deformará el material, y aunque no llegará a rotura, el componente no podrá ser funcional. Por lo tanto, en el próximo apartado de este capítulo, el diseñador deberá modificar el diseño inicial y proponer una solución a este fallo así como a los posibles fallos de este componente expuestos en las conclusiones del *Análisis Modal de Fallos y Efectos*.

#### 9.2.5. Diseño Final

El objetivo de este diseño final para el conjunto del asiento es reducir los desplazamientos que se originan debidos al peso del usuario. Obviamente el desplazamiento máximo se da en el extremo de la parte móvil cuando esta se encuentra totalmente desplegada. Estos desplazamientos no llegarán a deformar el material de manera permanente pero si podrían ocasionar un mal funcionamiento de los componentes.

La solución adaptada para solventar este problema es por un lado aumentar el grosor de la parte móvil del asiento, y por otro lado atornillar unas chapas de acero a cada una de las piezas que conforman el asiento, tanto la móvil como la fija. Estas chapas aportarán mayor resistencia a ambos componentes, disminuyendo los desplazamientos.

Como se ha observado en el *Ensayo de fuerzas inicial* para el primer diseño del asiento, los componentes con mayores tensiones resultantes y mayores desplazamientos han sido los dos elementos que conformen la parte del asiento (tanto la parte móvil y la fija). Por este motivo solo se rediseñarán ambas piezas y se realizará el análisis estático sobre ellas. El resto de piezas de este subconjunto no variarán. Las sujeciones y cargas que se introducirán serán las mismas que en el apartado anterior.

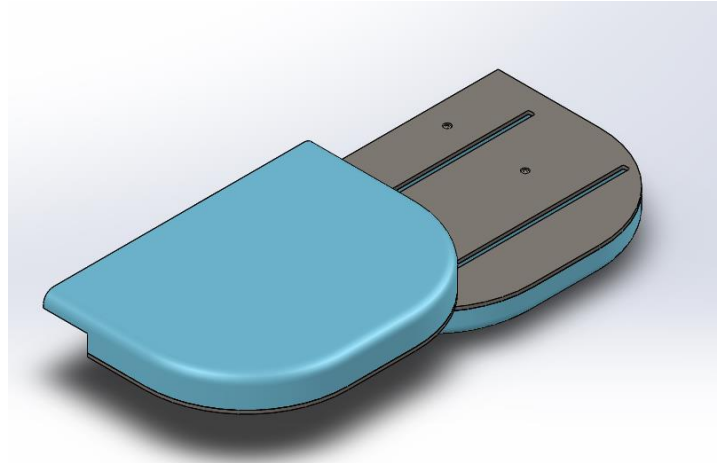


Ilustración 54. Vista de la parte superior del asiento con las modificaciones. Fuente: Propia.

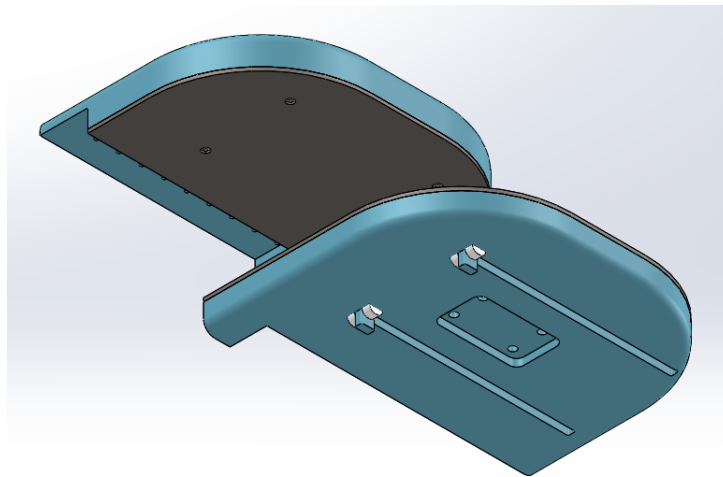


Ilustración 55. Vista de la parte inferior del asiento con las modificaciones. Fuente: Propia.

Los materiales utilizados siguen siendo **ABS** para los materiales plásticos y acero **S-275-JR** para las chapas metálicas. Las propiedades de este acero se podrán consultar en el apartado 9.3.2 *Elección de materiales* para la estructura.

Los resultados obtenidos en términos de tensión de Von Mises y desplazamientos (mm) han sido los siguientes.

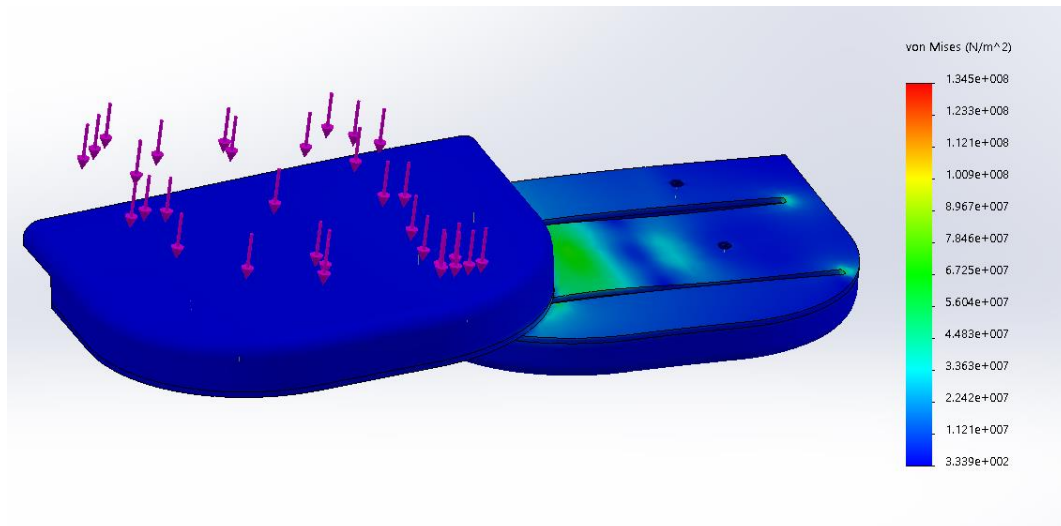


Ilustración 56. Tensiones de Von Mises para el análisis estático del asiento. Fuente: Propia.

Se observa que el mayor valor de tensión obtenido es de **134,5 MPa** y este se da en la chapa metálica superior. Este valor es inferior al límite elástico del material (275 MPa) por lo que se puede asegurar que no sufrirá deformaciones permanentes ni rotura. Además, ninguna zona de los materiales poliméricos supera su tensión de fluencia.

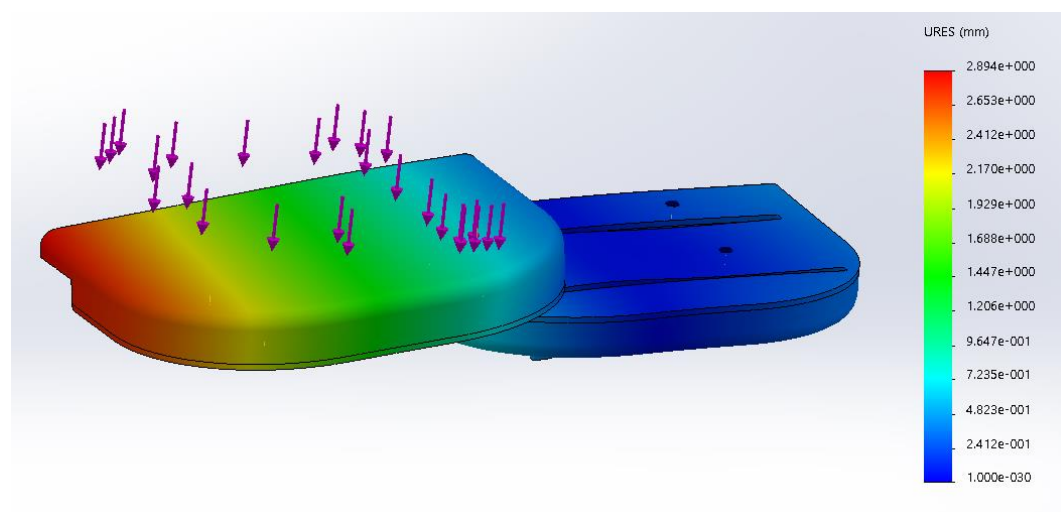


Ilustración 57. Desplazamientos para el análisis estático del asiento. Fuente: Propia.

El desplazamiento máximo obtenido es de **2.9 mm** y se da en el extremo de la parte móvil. Este desplazamiento no supondrá un riesgo crítico para la integridad del conjunto. Mediante la incorporación de estas chapas metálicas se ha conseguido **reducir los desplazamientos un 58,6 %**.

### 9.3. Estructura

La estructura es el componente el cual tiene como cometido proteger el columpio de las inclemencias climatológicas. Además, en la estructura se implementarán juegos adicionales para favorecer la inclusión social entre los diferentes niños usuarios. La incorporación de estos juegos podrá ser en forma de rocodromo, volantes, etc. y se incorporarán durante el diseño en detalle. Otro cometido de este componente es colgar el columpio, sin embargo, analizando los resultados del AMFE esto puede suponer un peligro para la integridad estructural, por lo tanto, se realizarán ensayos para observar el comportamiento de la estructura. En caso de no validar el diseño, se propondrán alternativas para subsanar este fallo.

El diseño conceptual seleccionado para la estructura fue el mostrado a continuación. Cabe destacar que además de la estructura, en este apartado también se analizará la cubierta.



*Ilustración 58. Diseño conceptual seleccionado para la estructura. Fuente: Propia.*

#### 9.3.1. Diseño Inicial

La estructura estará formada por miembros estructurales tubulares de acero, los cuales serán los miembros principales, y por elementos transversales, los cuales serán tubos y barras de acero y se encargarán de dotar de rigidez a la estructura.

Se ha comenzado dibujando el miembro principal, el cual es el elemento “arqueado” y del cual existirán dos unidades. Cada unidad constará de un conjunto de diferentes tubos de acero rectos y doblados. El grosor de estos tubos será 10 mm y su diámetro exterior 70 mm. Las uniones entre estos elementos se llevarán a cabo mediante soldadura con espesor de garganta de 3 mm. El miembro estructural principal se dividirá en tres componentes diferentes con el fin de facilitar

la realización de los planos. Las medidas exactas de cada elemento se podrán consultar en el Diseño en Detalle. La siguiente imagen pretende aclarar este aspecto. Se han coloreado cada uno de los componentes que conforman el miembro principal total.

- Color rojo: Miembro principal 1. Referencia: 06018 – 01 – 01
- Color azul: Miembro principal 2. Referencia: 06018 – 01 – 02
- Color amarillo: Miembro principal 3. Referencia: 06018 – 01 – 03

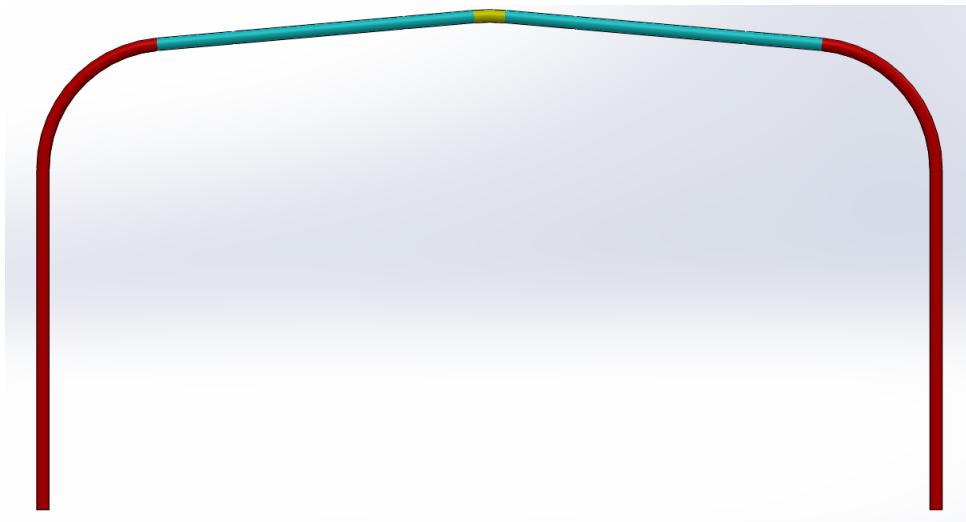


Ilustración 59. Vista de los diferentes componentes del miembro estructural principal. Fuente: Propia.

A continuación se muestra una imagen del miembro estructural principal y algunas cotas significativas (mm).

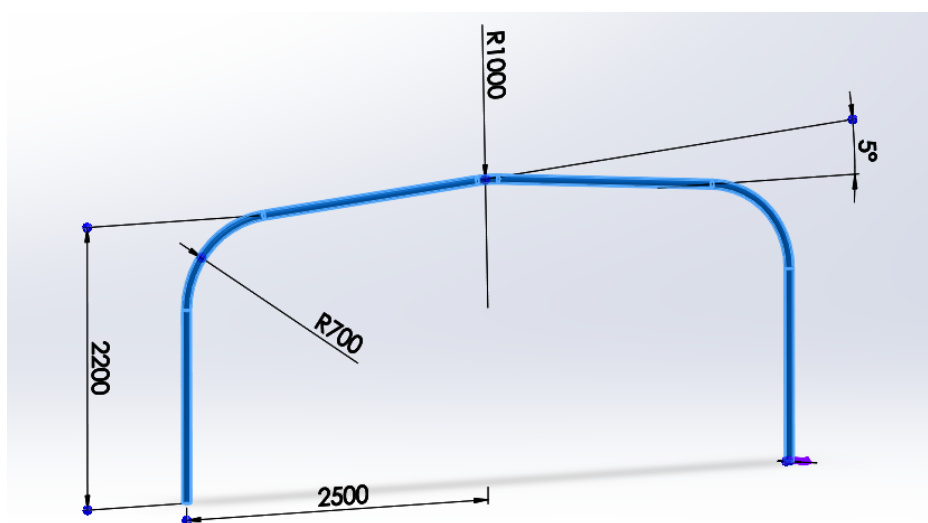


Ilustración 60. Vista del diseño del miembro estructural principal. Fuente: Propia.

La anchura entre estos dos miembros principales será de 2 metros (de centro a centro de los perfiles). A continuación, se han dibujado los elementos transversales, los cuales darán rigidez y seguridad estructural. Los elementos a incorporar serán los siguientes:

- 2 tubos de acero rectos. (diámetro exterior 34 mm)

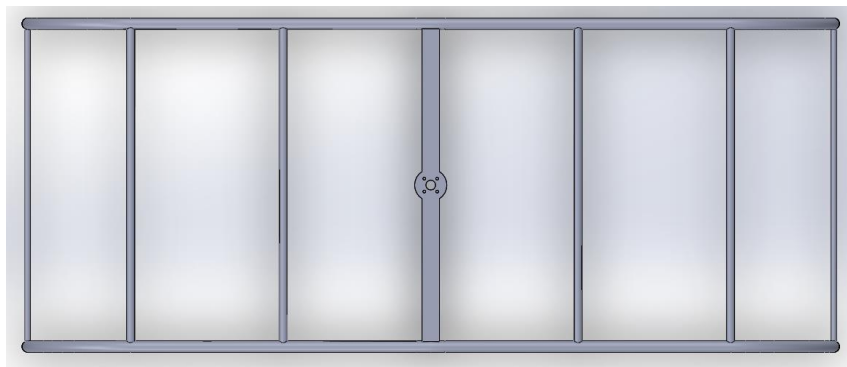
El diámetro exterior de estos tubos será de 34 mm. El espesor de los tubos será de 2 mm y su largura de 1930 mm. Cada tubo irá soldado en sus dos extremos a los dos miembros principales de la estructura. Las cotas para montar correctamente estos componentes podrá consultarse en el apartado de *Planos*.

- 4 tubos de acero rectos. (diámetro exterior 50 mm)

El diámetro exterior de estos tubos será de 50 mm, su espesor 2 mm y su largura 1930 mm. Cada tubo irá soldado a los miembros principales de la estructura, y sobre estos tubos se atornillará la cubierta.

- Barra rectangular de acero

Esta barra tiene como objetivo albergar el eje sobre el que girará el columpio. Uno de los principales modos de fallo relativos a este componente es el pandeo, por lo que habrá que realizar ensayos para comprobar la seguridad estructural. La barra tendrá un largura de 1930 mm, un espesor de 25 mm y una anchura de 108 mm. En el centro geométrico de su cara posterior se mecanizará un agujero para incorporar el eje.



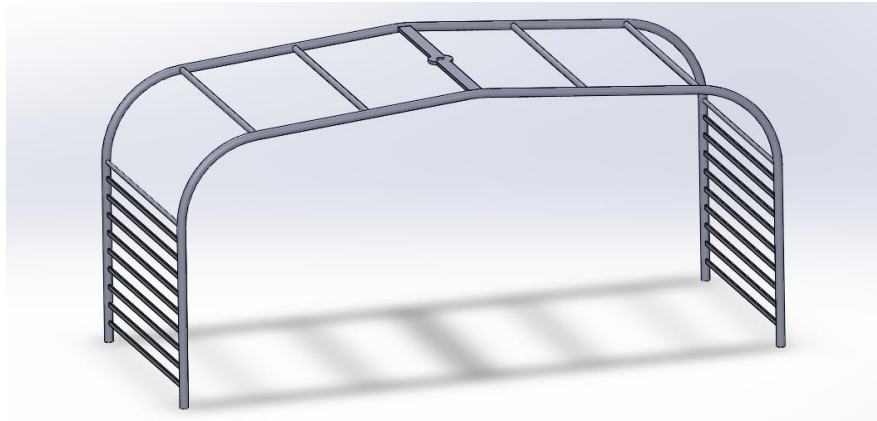
*Ilustración 61. Vista en planta de la estructura con la barra rectangular central. Fuente: Propia.*

- Barras transversales para área recreativa

En los laterales de la estructura se pretende incorporar diferentes juegos recreativos inclusivos para que el mayor número de niños pueda jugar simultáneamente. En un principio se pensó en usar planchas de metacrilato remachadas a los miembros principales, sin embargo, la fragilidad de estos elementos, el posible uso indebido y la acción del viento, podrían poner en riesgo la seguridad de los usuarios además de la funcionalidad del producto.

Como alternativa, se han diseñado unas barras de acero las cuales irán soldadas en sus extremos a cada uno de los miembros principales. Estas barras tendrán un espesor de 15 mm, una largura de 1930 mm y una anchura de 35 mm. Uno de los aspectos a tener en cuenta para el diseño de estas áreas recreativas, es que se permita la visión por los laterales, por lo que cada barra estará espaciada 115 mm.

Sobre estas barras se podrán atornillar elementos de escalada y diferentes juegos inclusivos.



*Ilustración 62. Vista de la estructura con las barras transversales laterales. Fuente: Propia.*

Por último, se explicará el diseño realizado para la cubierta. El principal objetivo del tejado es proteger de condiciones meteorológicas adversas y evacuar el agua de lluvia. Con este último objetivo se diseñó previamente la leve inclinación de 5 ° de los miembros principales.

La cubierta constará de dos placas de polimetil metacrilato (PMMA) atornilladas a los miembros principales de la estructura. Las propiedades de este material como del acero seleccionado para la estructura se desarrollarán en el apartado 9.3.2 *Elección de materiales*.

A pesar de que el tejado no es un elemento crítico ante posibles modos de fallo (según el AMFE realizado), se realizará análisis de fuerzas para comprobar si este elemento es resistente ante la posible carga de nieve acumulada. La realización de este ensayo se explicará en apartados posteriores.

La largura de cada placa será de 1888 mm, su anchura de 2069 mm y su espesor de 22 mm. Cada placa irá atornillada mediante 8 tornillos hexagonales *ISO 4014*. A continuación, se muestra una de las placas que conforman la cubierta de la estructura.



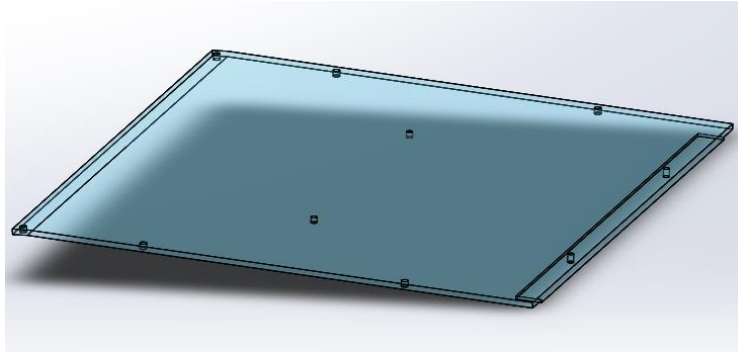


Ilustración 63. Vista de una de las placas de la cubierta. Fuente: Propia.

Finalmente se expone una ilustración con el diseño inicial del conjunto de la estructura completa.

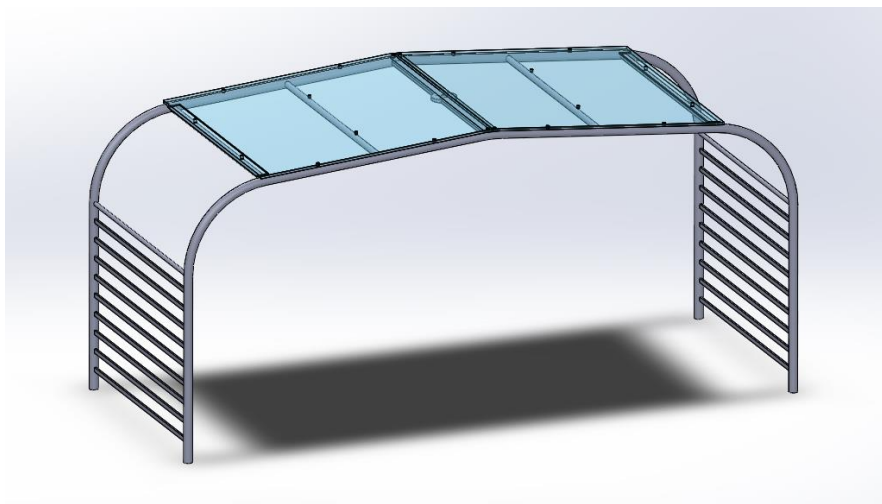


Ilustración 64. Diseño inicial de la estructura completa. Fuente: Propia.

### 9.3.2. Elección de materiales

En este apartado se comentarán los motivos de la elección de los materiales para este componente y se realizará una descripción de las propiedades de cada uno.

En primer lugar, se ha seleccionado un **acero estructural S-275-JR** para todos los elementos exceptuando la cubierta. Este acero es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono, que le aportan una gran dureza y resistencia. El motivo de la elección de este material es la reducción de costes, ya que al contar con muchos componentes metálicos en la estructura, la elección de un acero inoxidable podría resultar menos viable económicamente.

Cabe destacar que este acero es un material oxidable lo que, a la larga, podría suponer fisuras en el material poniendo en peligro su integridad estructural. Para solventar este posible fallo se decidió que la perfilería lleve un tratamiento de galvanizado en caliente por inmersión, así



como un **recubrimiento en polvo de poliéster termoendurecible**. La pintura en polvo termoendurecible es el recubrimiento en polvo formado a base de resinas de poliéster especialmente resistencia a los rayos ultravioletas. Este recubrimiento, junto con el galvanizado, está recomendado para todo tipo de materiales que estén expuestos a la intemperie. Las resinas en polvo termoendurecibles son resinas sólidas de bajo peso molecular, que al ser sometidas a altas temperaturas se funden, fluyen y curan, para dar lugar a un producto de reacción de un mayor peso molecular. [10]

A continuación se expone una tabla con las principales propiedades del acero estructural S-275-JR. Todos los datos han sido consultados en la web *Prontuarios de Ingeniería Civil: Herramientas para ingenieros y arquitectos*, [11], y en el documento, *Real Decreto 751/2011 de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE), Capítulo VI*. [12]

ACERO S-275-JR	
Propiedades químicas	
Oxidación	Material oxidable
Propiedades físicas	
Densidad	7850 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico	77008.5 N/m <sup>3</sup>
Conductividad	3x10 <sup>6</sup> S/m
Coefficiente Dilatación térmica	1.2x10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>
Calor específico	0.11 kcal/kg°C
Propiedades mecánicas	
Tensión de rotura (f <sub>u</sub> )	410 MPa
Límite elástico (f <sub>y</sub> )	275 MPa
Módulo de elasticidad (E)	210 GPa
Módulo de rigidez (G)	81 GPa
Coefficiente Poisson	0.3

Tabla 18. Propiedades del acero S-275-JR. Fuente: [11], [12]

El segundo material elegido ha sido el **polimetil metacrilato (PMMA)** para la cubierta. El motivo de la elección es que se quería un material transparente para favorecer la entrada de luz al área recreativa, así como resistente y estético. A continuación se expone una tabla con las principales propiedades de este material polimérico. La información relativa a este material ha sido obtenida de la base de datos sobre materiales realizada por la *Universitat de Barcelona* [9]. Algunas de las propiedades se darán en un intervalo ya que dependerá de la conformación de dicho material.

POLIMETIL METACRILATO (PMMA)	
Propiedades generales	
Densidad	1.16 – 1.22 g/cm <sup>3</sup>
Precio	1.16 – 1.22 €/kg
Propiedades mecánicas	
Módulo elástico	2.24 – 3.8 GPa
Coeficiente Poisson	0.384 – 0.403
Tensión de fluencia	70 MPa [10]
Resistencia a compresión	72.4 - 131 MPa
Resistencia a tracción	8.3 – 79.6 MPa
Propiedades térmicas	
Temperatura de transición vítrea	84.9 – (-165) ° C
Otras	
Conformación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrusión</li> <li>- Inyección</li> <li>- Termoconformado</li> </ul>
Reciclabilidad	Es un material reciclable

Tabla 19. Propiedades para el polimetil metacrilato. Fuente: [9].

### 9.3.3. Cálculo Cubierta: Carga de Nieve

En primer lugar se realizará el análisis de la cubierta para comprobar su viabilidad ante una carga de nieve. Este no ha sido un modo de fallo crítico resultante del AMFE, sin embargo, el proyectista cree adecuada su realización. En segundo lugar se llevará acabo la comprobación de integridad de la estructura.

El cálculo ha sido realizado con *SolidWorks Simulation 2017*.

La carga principal para este cálculo será la carga por nieve. Para calcular esta carga se utilizará el *Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación (DBSE – AE)* [13], el cuál en su apartado 3.5.2 muestra una tabla con los valores de carga por nieve sobre terrenos horizontales en diferentes ciudades.

- 1 El valor de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal,  $s_k$ , en las capitales de provincia y ciudades autónomas se puede tomar de la tabla 3.8

Tabla 3.8 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	San Sebastián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,5
Ciudad Real	640	0,2	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	690	0,2
Córdoba	100	0,6	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,2	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Cuenca	1.010	0,3	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	70	1,0	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	680	0,4	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Tabla 20. Carga por nieve según DBSE-AE. Fuente: [13]

De esta manera, se observa la carga por nieve a utilizar: 700 N/m<sup>2</sup>, ya que se considera que el columpio se instalará en Pamplona. Esta será la carga introducida en el complemento *Simulation* y actuará como una presión repartida sobre toda la superficie de la cubierta.

Posteriormente se han introducido las sujeciones para la cubierta. Estas serán el conjunto de agujeros roscados en los que irá atornillada la cubierta a la estructura, así como la superficie de contacto entre la cubierta y el eje sobre el que girará el columpio.

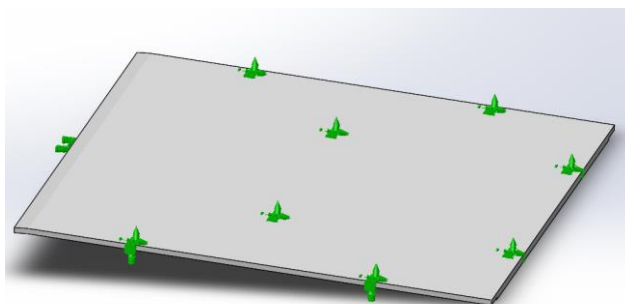


Ilustración 65. Vista de las sujeciones para cálculo por carga de nieve. Fuente: Propia.

Más tarde se introdujo la carga de presión ejercida por la nieve con un valor de 700 N/m<sup>2</sup>.

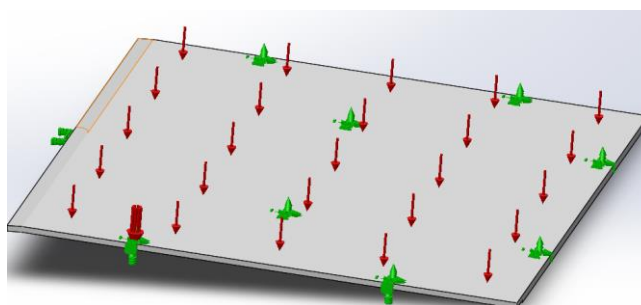


Ilustración 66. Vista de la carga de presión ejercida por la nieve. Fuente: Propia.

Finalmente se realizó el mallado básico, se ejecutó el análisis y se comprobaron los resultados.

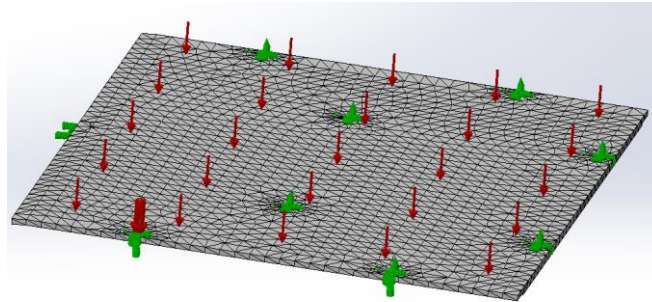


Ilustración 67. Vista de la malla realizada para la cubierta. Fuente: Propia.

A continuación se analizarán los resultados y se concluirá si el diseño puede ser validado o no. Cabe destacar que el software *SolidWorks Simulation* no tiene incorporado el límite elástico para el PMMA al tratarse de un material polimérico, cuyo límite elástico variará con la temperatura. Por lo tanto, se comparará la tensión máxima de von mises obtenida con la tensión de fluencia del material, dato recogido en la Tabla 19, y obtenido de la norma *UNE-EN ISO 527-1:2012 Plásticos: Determinación de propiedades mecánicas* [14].

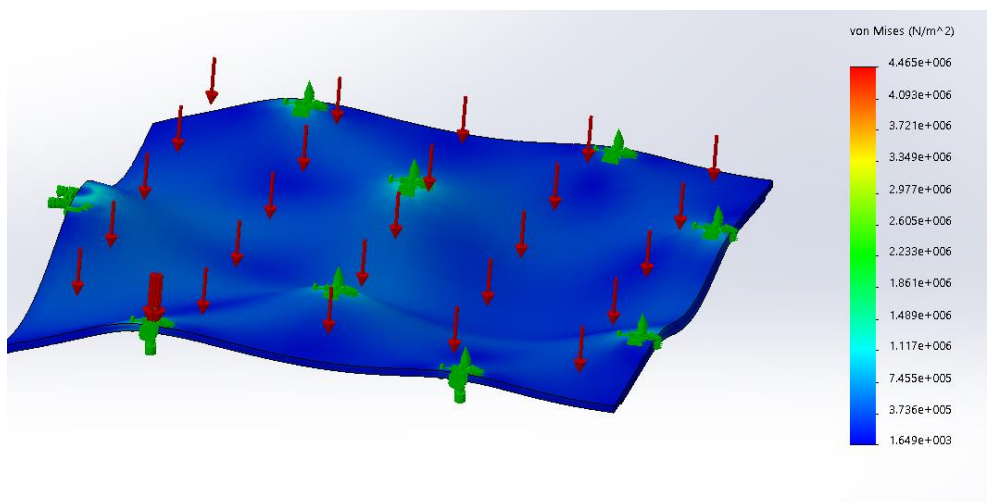


Ilustración 68. Resultados tensión de Von Mises para la cubierta. Fuente: Propia.

Se observa en los resultados obtenidos que la tensión máxima de Von Mises es de **4,46 MPa**, y se da en una de los agujeros roscados centrales. Este valor es muy inferior a la tensión de fluencia del material (**70 MPa**), a partir de la cual el material podría deformarse de manera plástica. Por lo tanto, se puede concluir que este componente no sufrirá riesgo de rotura ni de deformaciones permanentes. Se analizarán ahora los desplazamientos obtenidos.

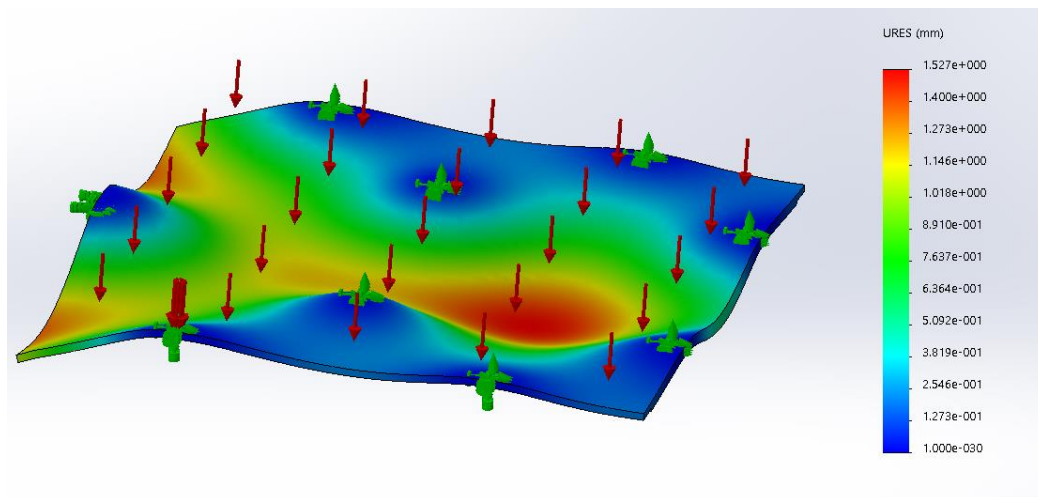


Ilustración 69. Resultados para los desplazamientos en la cubierta. Fuente: Propia.

Se observa en la ilustración que el desplazamiento máximo es de **1,5 mm**, por lo que se trata de un desplazamiento que no supondrá un riesgo para la integridad de la cubierta.

Para concluir el cálculo de la cubierta por carga de nieve se puede afirmar que el componente es seguro ante esta carga por lo que el **diseño** queda **validado**.

#### 9.3.4. Cálculo Estructura: Peso Usuarios

Se realizará a continuación el segundo ensayo para comprobar si la estructura soporta el peso de los usuarios. Como se ha explicado en las consideraciones generales, el número de usuarios será 4, se usará un valor de cálculo de 100 kg/usuario y un coeficiente de mayoración de 1,25.

En un principio, se había pensado en colgar el columpio sobre la estructura, sin embargo, a priori, parece evidente que esta estructura no será capaz de resistir el peso de cuatro usuarios, ejercido sobre la chapa transversal a los miembros principales. Se recuerda que los modos de fallo críticos del AMFE fueron el pandeo de componentes debido a un mal reparto de cargas y el colapso debido a un mal dimensionamiento y al uso indebido.

Se lleva a cabo el ensayo para comprobar la resistencia de la estructura mediante el software *SolidWorks Simulation*. En caso de no poder validar el diseño se propondrán alternativas que no resten funcionalidad al conjunto global del producto.

En primer lugar se realizan las sujeciones adecuadas para la estructura. Los dos miembros principales se anclarán a tierra mediante cimentación, por lo que en los cuatro extremos se colocarán sujeciones fijas.

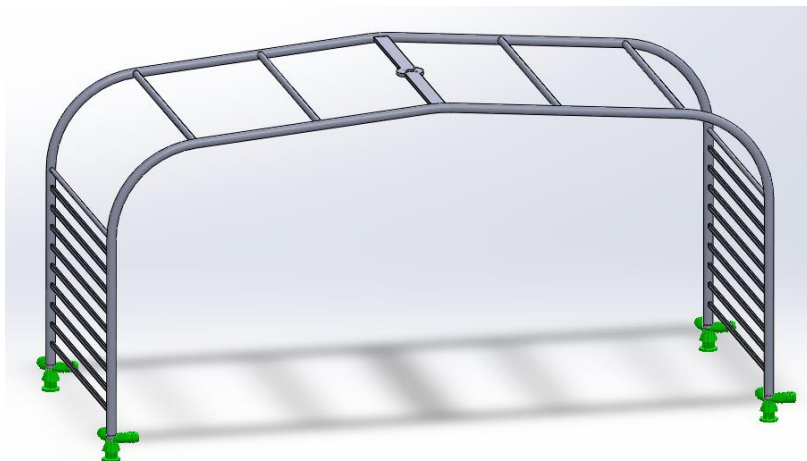


Ilustración 70. Vista de las sujeciones para el cálculo de la estructura. Fuente: Propia.

Posteriormente se insertará la fuerza vertical correspondiente al peso de los usuarios. Estará calculada de la siguiente manera:

$$4 \text{ usuarios} \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{usuario}} \times 1,25 = 500 \text{ kg} = 5000 \text{ N}$$

La carga se ejercerá en la superficie sobre la que irá colgado el eje del columpio, el cual transmitirá las fuerzas a la estructura.

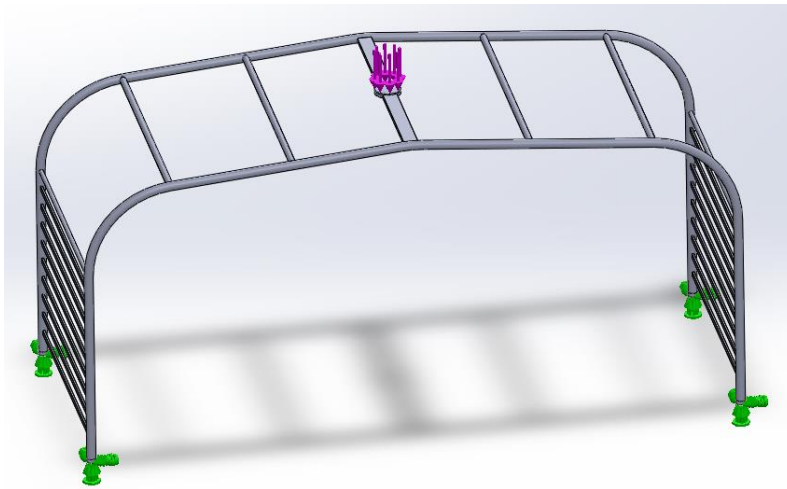


Ilustración 71. Vista de la carga debida al peso de los usuarios. Fuente: Propia.

Finalmente se realiza el mallado automático.

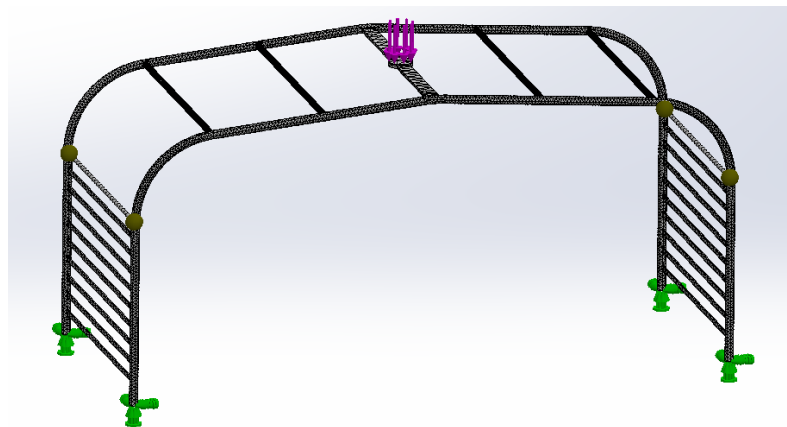


Ilustración 72. Vista del mallado de la estructura. Fuente: Propia.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en términos de tensión de Von Mises, desplazamientos y factor de seguridad.



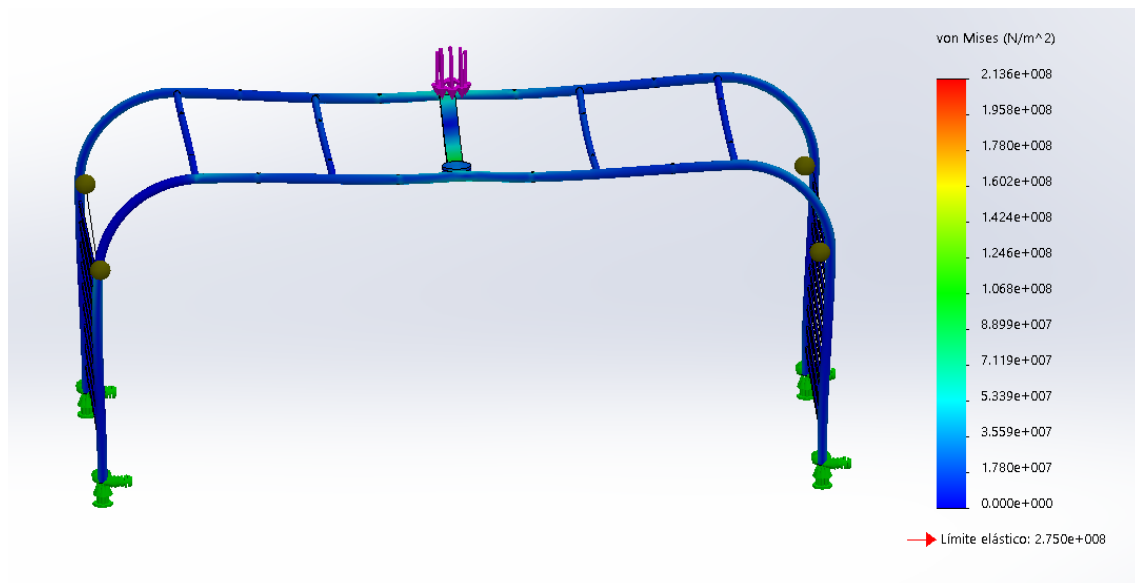
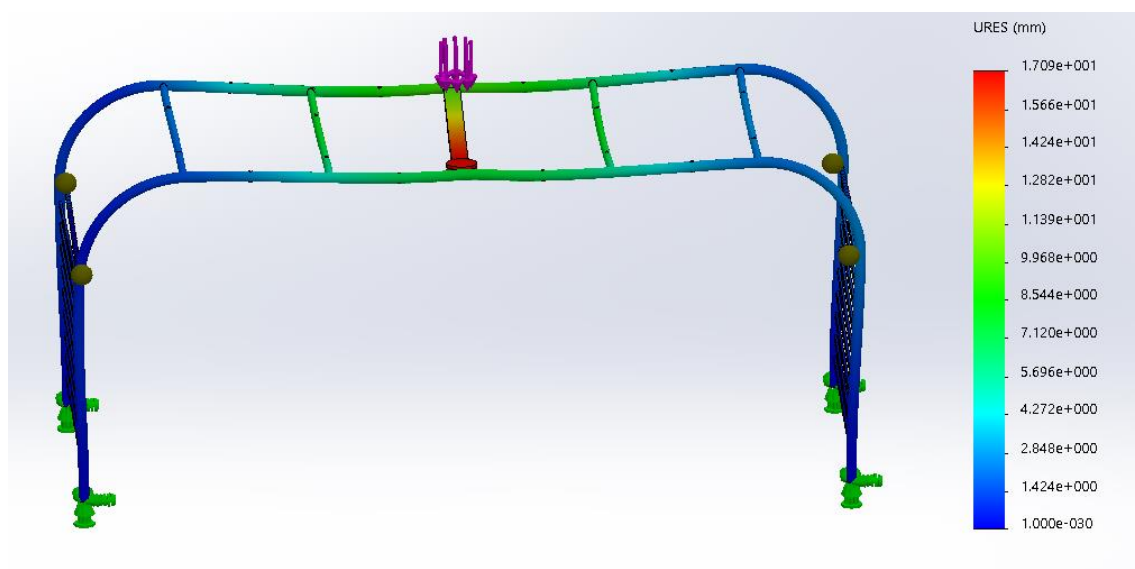


Ilustración 73. Resultados tensión de Von Mises para la estructura. Fuente: Propia.

Observando los resultados se ve que la máxima tensión obtenida es de **214 MPa**, valor inferior al límite elástico del material (**275 MPa**). Esto significa que no se sobrepasará el límite elástico, el material no se deformará plásticamente y obviamente no llegará a rotura. Se analizará ahora los desplazamientos.



Los resultados obtenidos muestran que el desplazamiento máximo es de **17 mm** en la barra transversal a los miembros principales. Este desplazamiento es suficiente para hacer peligrar la integridad estructural del componente, suponiendo un riesgo crítico para el usuario. Por este motivo no se podrá validar el diseño. Por último se observará el factor de seguridad mínimo para la estructura.



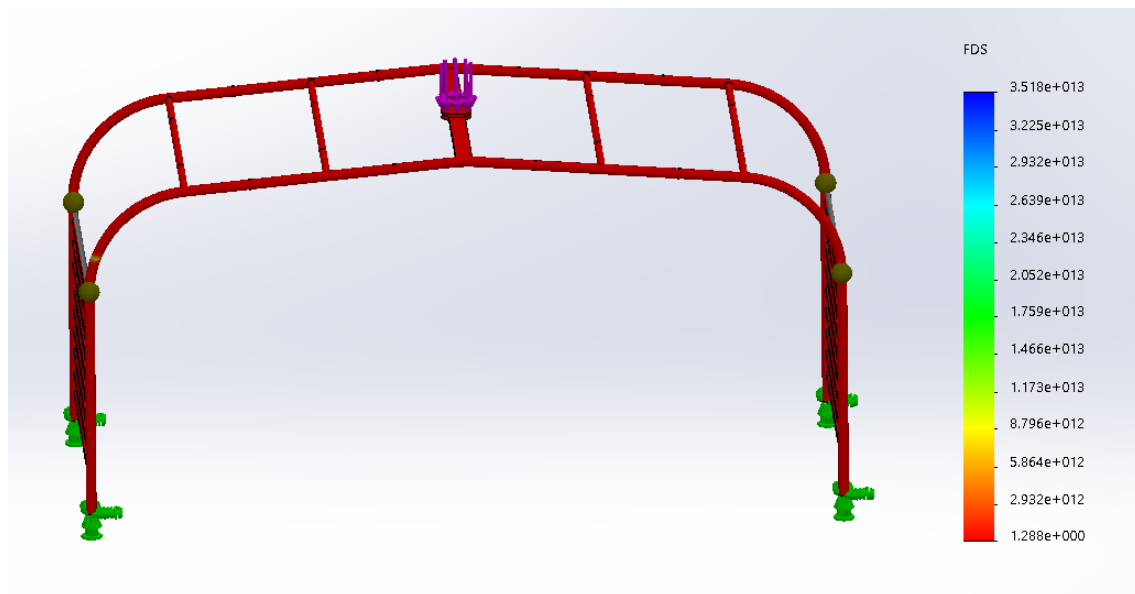


Ilustración 74. Resultado del factor de seguridad para la estructura. Fuente: Propia.

Se aprecia que el factor de seguridad mínimo ante esta carga es de **1,3** y a pesar de que sea un factor válido, no será suficiente para un componente que debe ser seguro ante todo pronóstico.

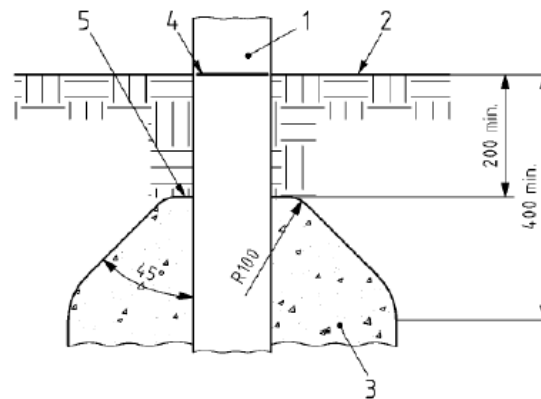
Se puede concluir que este **diseño no es válido ante la carga estudiada**. Como se ha dicho anteriormente, es un componente cuyos modos de fallo son muy graves para la integridad física del usuario. De esta manera, el proyectista deberá tomar una decisión para solventar este problema y hacer de la estructura un componente seguro.

Tras deliberar, la solución tomada es cambiar el reparto de las cargas. En un principio, se había pensado en colgar el columpio para dar un mayor atractivo a este. Sin embargo, la altura del asiento es de 45 cm aproximadamente para facilitar la incorporación de un usuario en silla de ruedas, por lo tanto, no existe ninguna necesidad de colgar el columpio a la estructura. De esta manera, el **columpio seguirá girando respecto del eje** que estará anclado a la estructura, **pero la carga debida al peso de los usuarios se transmitirá al suelo**. La decisión ha sido tomada ya que esta no resta funcionalidad a ninguno de los componentes del producto, y además garantiza la total seguridad del usuario respecto de la estructura. De esta forma, el diseño en lugar de ser un columpio colgado de un punto suspensión, será un **carrusel** que girará respecto de un eje.

#### 9.3.5. Cimentación

El conjunto de la estructura se anclará al suelo mediante cimentación. Para ello se cumplirá las distancias que dicta la norma *UNE – EN 1176 – 1 Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo* [6]. De esta manera, los tubos de la estructura deben finalizar en un tramo recto de al menos 400 mm.

Medidas lineales en milímetros



## Leyenda

- 1 poste
- 2 superficie de juego
- 3 cimentación
- 4 marca de la línea de base
- 5 parte superior de los cimientos

NOTA La marca de la línea de base indicada por el fabricante en el equipo muestra el nivel de la superficie de juego. Se debería mantener este nivel de base.

*Ilustración 75. Detalle de la cimentación. Fuente: UNE-EN 1176-1. [6]*

## 9.4. Sistema de giro

Se pretende explicar mediante este apartado la realización del diseño preliminar de cada uno de los componentes que forman el sistema de giro. La alternativa seleccionada durante el diseño conceptual para este sistema fue el giro mediante rodamiento. De esta manera, se seleccionará un rodamiento apto para las cargas que debe soportar y el tipo de giro que debe proporcionar.

Una vez se haya seleccionado el rodamiento adecuadamente, se dimensionarán el resto de piezas que conforman el sistema. Posteriormente, se acudirá a las conclusiones del *Ánisis Modal de Fallos y Efectos*, para ver que componentes son críticos con el fin de realizar los cálculos y ensayos pertinentes.

### 9.4.1. Selección del rodamiento

Para la selección del rodamiento se ha consultado el catálogo de la empresa *SKF* [15] y se ha elegido un **rodamiento axial de bolas** (o de empuje de dirección única) ya que la carga que deberá soportar este va en la dirección de su eje. La carga a soportar por el rodamiento será la suma total de los pesos de los usuarios multiplicado por los coeficientes de mayoración adecuados. De acuerdo a las consideraciones generales expuestas al comienzo del *Diseño Preliminar*, se utilizará un peso total de 400 kg (4 usuarios), un coeficiente de mayoración de 1,25 debido a uso indebido, y otro coeficiente de mayoración del mismo valor para tener en cuenta el peso de los componentes como los asientos, barras de la base giratoria, etc. De esta manera, la carga a soportar por el rodamiento, y la cual será uno de los criterios de selección de este tendrá un valor de:

$$4 \text{ usuarios} \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{usuario}} \times 1,25 \times 1,25 = 625 \text{ kg} = 6250 \text{ N} = \mathbf{6,25 \text{ kN}}$$

El segundo criterio de selección para el rodamiento, será la geometría, es decir, su diámetro exterior e interior, con el fin de que se acomode al resto de componentes que conformarán el sistema de giro completo.

Ya que realmente existe gran libertad para el dimensionamiento de los diferentes componentes que conformarán el sistema de giro, se ha seleccionado un rodamiento dentro del rango 35 – 70 mm de diámetro interior y comprobando que tenga una capacidad de carga óptima.

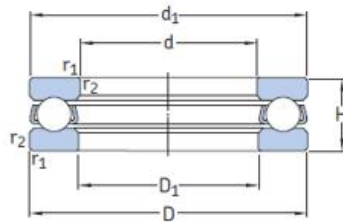
El rodamiento seleccionado es un **ISO 104 – 144090** (*designación SKF 51408*) cuyas dimensiones son :

- Diámetro exterior : 90 mm
- Diámetro interior: 40 mm
- Anchura: 36 mm

- Capacidad de carga dinámica: 95,6 kN
- Capacidad de carga estática: 183 kN
- Carga límite de fatiga: 6,8 kN

### 10.1 Rodamientos axiales de bolas de simple efecto

d 35 – 70 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Factor de carga mínima	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	H	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	A	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	–	r. p. m.		kg	–
35	52	12	19,9	51	1,86	0,013	5 600	7 500	0,08	51107
	62	18	35,1	73,5	2,7	0,028	4 000	5 600	0,22	51207
	68	24	49,4	96,5	3,55	0,048	3 400	4 800	0,39	51307
	90	32	76,1	137	5,1	0,15	2 600	3 600	0,79	51407
40	60	13	25,5	63	2,32	0,02	5 000	7 000	0,12	51108
	68	19	44,2	96,5	3,6	0,058	3 800	5 300	0,28	51208
	78	26	61,8	122	4,5	0,077	3 000	4 300	0,53	51308
	90	36	95,6	183	6,8	0,26	2 400	3 400	1,1	51408
45	65	14	26,5	69,5	2,55	0,025	4 500	6 300	0,14	51109
	73	20	39	86,5	3,2	0,038	3 600	5 000	0,3	51209
	85	28	76,1	153	5,6	0,12	2 800	4 000	0,66	51309
	100	39	124	240	9	0,37	2 200	3 000	1,4	51409
50	70	14	27	75	2,8	0,029	4 300	6 300	0,16	51110
	78	22	49,4	116	4,3	0,069	3 400	4 500	0,37	51210
	95	31	81,9	170	6,3	0,19	2 600	3 600	0,94	51310
	110	43	159	340	12,5	0,6	2 000	2 800	2	51410

Ilustración 76. Catálogo SKF de rodamientos axiales de bolas. Fuente: SKF.

Se puede observar que tanto la capacidad de carga dinámica y estática del rodamiento, así como su carga límite a fatiga son inferiores a la carga que deberá soportar el rodamiento en su dirección axial.

### 9.4.2. Diseño de componentes

Una vez seleccionado el rodamiento de acuerdo a los criterios citados anteriormente, se procede a diseñar el resto de elementos que harán posible que el conjunto de los asientos gire. Estos elementos serán:

- **Carcasa:** Elemento protector del sistema de giro el cual irá atornillado al suelo.
- **Soporte para rodamiento:** Componente sobre el cual se asentará el rodamiento y permitirá su correcta actuación.
- **Rodamiento ISO 104 - 144090.**
- **Eje giratorio:** Elemento que girará gracias a la acción del rodamiento. Este componente será el mismo que la *Base Giratoria*, analizada en el *Ánisis Modal de Fallos y Efectos* y sobre la cual se realizarán cálculos más adelante.

En este apartado tan solo se explicará el diseño de los componentes y sus dimensiones más generales. Las dimensiones totales estarán especificadas en los *Planos*.

Se expone a continuación una ilustración del corte longitudinal del conjunto del sistema diseñado. Los colores de los componentes no serán definitivos, simplemente se han introducido para visualizar mejor cada pieza.

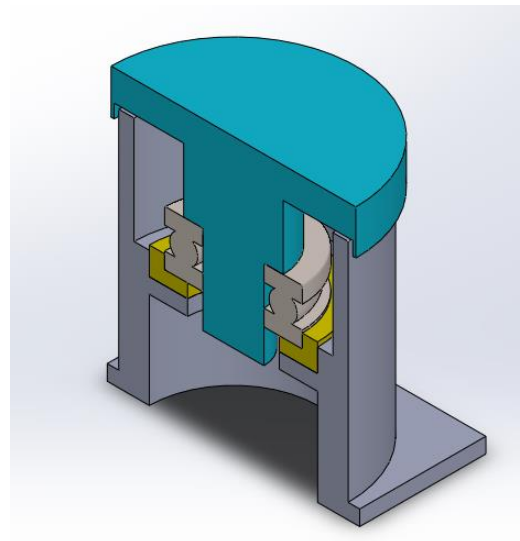


Ilustración 77. Vista del corte longitudinal del sistema de giro. Fuente: Propia.

Como se observa en la ilustración, el conjunto diseñado permitirá girar al eje (azul) gracias a la acción del rodamiento. La carcasa estará atornillada al suelo, y en ella se ha decidido elevar el asiento del rodamiento para evitar que el eje toque el suelo. El diámetro interior del soporte corresponderá con el diámetro exterior del rodamiento (90 mm).

Entre la carcasa y el eje giratorio se ha dejado un mínimo espacio de 3 mm para evitar la fricción entre ambas piezas. El saliente realizado en la cara externa del eje giratorio tiene como finalidad evitar que partículas de polvo o agua puedan acceder al rodamiento.

Cabe destacar que sobre la cara superior se soldarán las barras que sostendrán los asientos. Este conjunto del eje giratorio mostrado en la imagen anterior junto con las citadas barras, será un solo componente al que se nombrará como *Base Giratoria*.

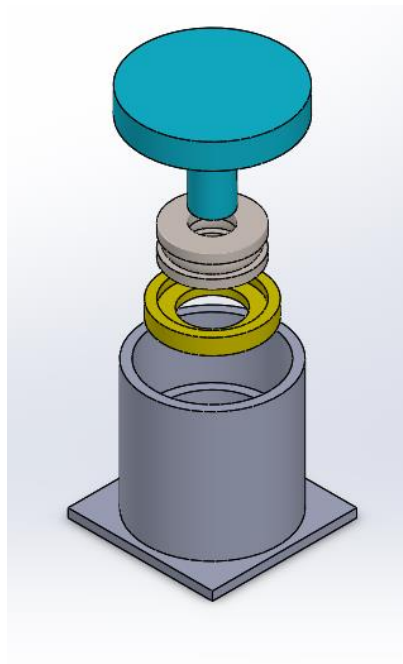


Ilustración 78. Vista explosionada del sistema de giro. Fuente: Propia.

#### 9.4.3. Elección de materiales

El material de todos los componentes del sistema de giro será acero. Para la carcasa y el eje-base giratoria se ha seleccionado el **acero estructural S-275-JR**, cuyas propiedades han sido citadas en el apartado 9.3.2.

Para el soporte del rodamiento se ha elegido un acero inoxidable **AISI 304**, ya que es un material utilizado habitualmente en la fabricación de accesorios para rodamientos. Se expone una tabla con las principales propiedades de este material. Todos los datos han sido recogidos de la web *GoodFellow: Materiales para Investigación Científica y Fabricación*. [16]



<b>ACERO AISI 304</b>	
<b>Propiedades químicas</b>	
<b>Oxidación</b>	Material inoxidable
<b>Propiedades físicas</b>	
<b>Densidad</b>	7.93 g/cm <sup>3</sup>
<b>Conductividad</b>	16.3 W/m*K
<b>Coeficiente Dilatación térmica</b>	18x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Propiedades mecánicas</b>	
<b>Resistencia a tracción</b>	515 MPa
<b>Límite elástico (f<sub>y</sub>)</b>	205 MPa
<b>Módulo de elasticidad (E)</b>	193 GPa
<b>Módulo de rigidez (G)</b>	70 GPa
<b>Coeficiente Poisson</b>	0.26

Tabla 21. Propiedades del acero AISI 304. Fuente: [16]



#### 9.4.4. Diseño y Cálculos Eje-Base Giratoria

En este apartado se diseñará uno de los elementos críticos del sistema de giro: el eje giratorio. Este componente es el encargado de sustentar los dos asientos de transferencia y las dos plataformas, por este motivo es un elemento crítico en el cual se deberá asegurar su total integridad. Cabe destacar que durante el apartado 9.4.2. *Diseño de componentes* el eje azul diseñado es una simplificación de este elemento. En la cara superior de este eje “simplificado” se soldarán cuatro barras las cuales sustentarán los asientos y plataformas. Es por esto que esta base giratoria deberá soportar el peso de cuatro usuarios y por tanto su dimensionamiento debe estar basado en cálculos y ensayos.

Los factores a tener en cuenta para el diseño de la base giratoria, y de los cuales dependerá la resistencia de esta serán:

- Longitud de las barras.
- Tipo de perfil de las barras.
- Espesor de las barras.
- Acero seleccionado.

En primer lugar, se realizará un diseño inicial del componente, con el objetivo de mostrar una idea preliminar de este. Este diseño será sometido a un ensayo de carga estática para determinar su resistencia y que factores citados anteriormente se pueden cambiar para lograr un diseño válido.

Más tarde, se realizarán diferentes ensayos cambiando la longitud de las barras, el tipo de perfil, su espesor y el tipo de acero. De esta manera, se obtendrán diferentes resultados y el proyectista elegirá aquel que cumpla mejor las condiciones de resistencia y seguridad a cumplir. Los resultados se darán en una tabla para poder compararlos.

Los materiales seleccionados para realizar los diferentes análisis serán: acero *S-275-JR*, el acero utilizado hasta ahora para el resto de componentes; acero *AISI 4340*, de alto límite elástico y el acero *AISI 1020*, de límite elástico medio.

Una vez se haya seleccionado el diseño del componente, el cual deberá ser seguro ante carga estática, se realizará un análisis de fatiga ya que este componente estará sometido a una determinada carga dinámica cíclica, repetida en el tiempo. El objetivo será calcular la vida útil de este componente.

#### **DISEÑO 1 BASE GIRATORIA**

Como se ha explicado anteriormente la base giratoria es el componente que sustenta los asientos y las plataformas y conecta estos con el sistema de giro con rodamiento. El primer diseño es el siguiente. Su espesor será de 4 mm.



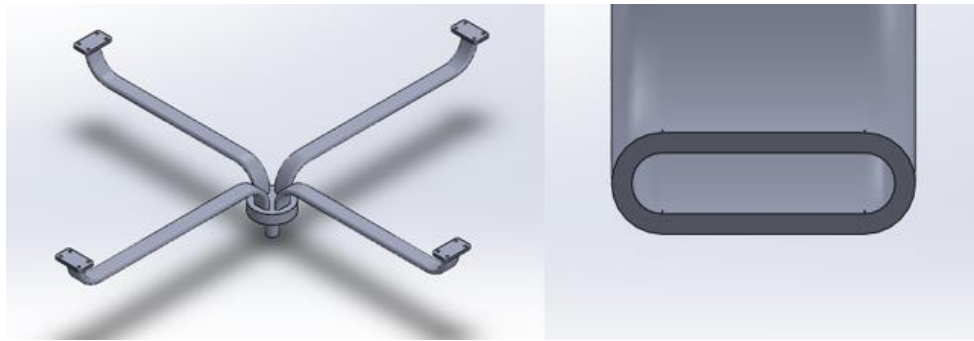


Ilustración 79. Vista de diseño inicial y sección para base giratoria.. Fuente: Propia.

### **DISEÑO 2 BASE GIRATORIA**

El segundo diseño a estudiar será el mismo sólo que la sección será maciza.

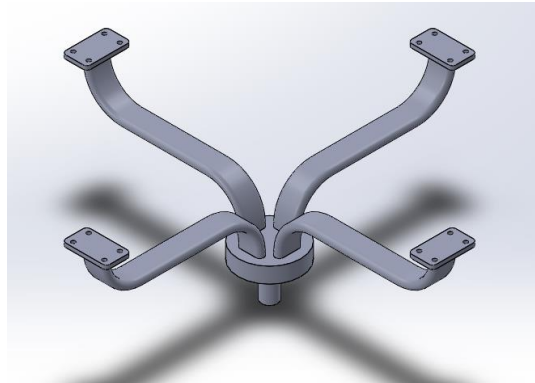


Ilustración 80. Vista isométrica del diseño 2 para base giratoria. Fuente: Propia.

### **DISEÑO 3 BASE GIRATORIA**

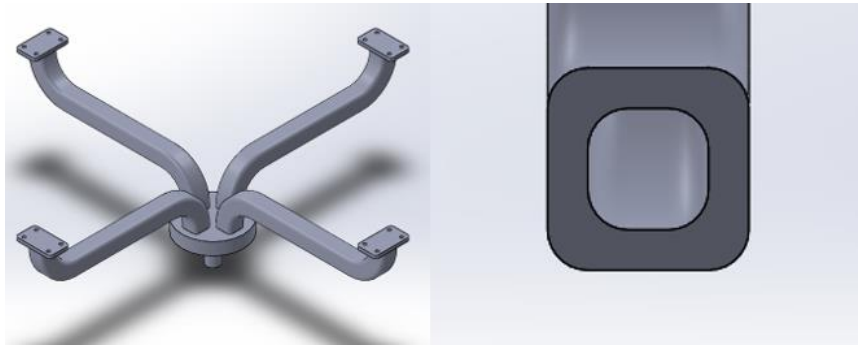
Para el tercer diseño se ha cambiado el perfil de las barras. Este será un perfil rectangular macizo.



Ilustración 81. Vista y sección del diseño 3 para base giratoria. Fuente: Propia.

#### **DISEÑO 4 BASE GIRATORIA**

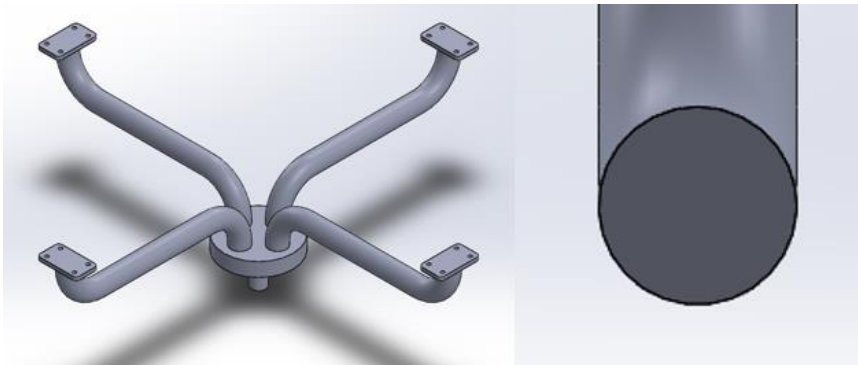
Para el cuarto diseño se ha mantenido el perfil rectangular pero en este caso será hueco y tendrá un espesor de 10 mm.



*Ilustración 82. Vista isométrica y sección del diseño 4 para base giratoria. Fuente: Propia*

#### **DISEÑO 5 PARA BASE GIRATORIA**

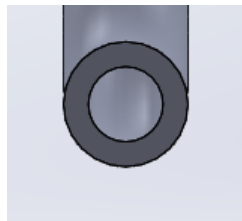
En este caso se ha elegido un perfil circular macizo.



*Ilustración 83. Vista isométrica y sección del diseño 5 para base giratoria. Fuente: Propia.*

#### **DISEÑO 6 BASE GIRATORIA**

Por último, este diseño contará con un perfil circular hueco de espesor 10 mm.



*Ilustración 84. Vista de la sección para el diseño 6 de la base giratoria. Fuente: Propia.*

## ENSAYOS Y RESULTADOS

Una vez se han definido los seis diseños para este componente se procede a realizar los diferentes análisis estáticos para comprobar su resistencia.

Para cada diseño se variará la longitud de las barras (300 mm, 500 mm y 600 mm) y se cambiará el material entre los tres aceros citados al principio de este apartado.

Los resultados que se analizarán serán: tensión máxima de von mises, desplazamientos y factor de seguridad en función del límite elástico del material. Los resultados se presentarán en tablas para poder compararlos entre sí.

La sujeción para todos los ensayos se va a realizar en la cara del eje que hace contacto con el rodamiento, es decir, donde se transmite la fuerza axial a este. La carga estática que se introducirá en el complemento *SolidWorks Simulation 2017* será de **1025 N** en cada cara de sujeción de los asientos. Esta fuerza ha sido calculada como el peso de un usuario de 100 kg por un coeficiente de seguridad de 1,25.

RESULTADOS DISEÑO 1				
MATERIAL	LONGITUD (mm)	Tensión max. (MPa)	Desplazamiento max. (mm)	Factor Seguridad min.
<b>Acero S-275-JR</b> $\sigma_e = 275 \text{ MPa}$	300,0	319,8	6,1	0,9
	500,0	561,2	19,6	0,5
	600,0	654,8	30,1	0,4
<b>Acero AISI 4340</b> $\sigma_e = 710 \text{ MPa}$	300,0	311,4	6,1	2,3
	500,0	550,4	19,9	1,3
	600,0	645,4	30,6	0,9
<b>Acero AISI 1020</b> $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$	300,0	315,3	6,2	1,1
	500,0	555,5	20,1	0,6
	600,0	648,1	30,8	0,5

Tabla 22. Resultados análisis estático diseño 1 base giratoria. Fuente: Propia.

RESULTADOS DISEÑO 2				
MATERIAL	LONGITUD (mm)	Tensión max. (MPa)	Desplazamiento max. (mm)	Factor Seguridad min.
<b>Acero S-275-JR</b> $\sigma_e = 275 \text{ MPa}$	300,0	122,8	3,3	2,2
	500,0	205,2	11,5	1,3
	600,0	245,5	18,4	1,1
<b>Acero AISI 4340</b> $\sigma_e = 710 \text{ MPa}$	300,0	122,4	3,4	5,8
	500,0	204,6	11,7	3,5
	600,0	245,7	18,8	2,9
<b>Acero AISI 1020</b> $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$	300,0	122,8	3,4	2,8
	500,0	204,6	11,7	1,7
	600,0	246,4	18,8	1,4

Tabla 23. Resultados análisis estático diseño 2 base giratoria. Fuente: Propia.

RESULTADOS DISEÑO 3 (Sección rectangular maciza)				
MATERIAL	LONGITUD (mm)	Tensión max. (MPa)	Desplazamiento max. (mm)	Factor Seguridad min.
<b>Acero S-275-JR</b> $\sigma_e = 275 \text{ MPa}$	300,0	28,6	0,3	9,6
	500,0	46,3	1,0	5,9
	600,0	55,2	1,6	5,0
<b>Acero AISI 4340</b> $\sigma_e = 710 \text{ MPa}$	300,0	28,2	0,3	25,2
	500,0	45,8	1,0	15,5
	600,0	54,6	1,6	13,0
<b>Acero AISI 1020</b> $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$	300,0	28,4	0,3	12,3
	500,0	46,0	1,1	7,6
	600,0	55,0	1,6	6,4

Tabla 24. Resultados análisis estático diseño 3 base giratoria. Fuente: Propia.

RESULTADOS DISEÑO 4 (Sección rectangular hueca)				
MATERIAL	LONGITUD (mm)	Tensión max. (MPa)	Desplazamiento max. (mm)	Factor Seguridad min.
<b>Acero S-275-JR</b> $\sigma_e = 275 \text{ MPa}$	300,0	34,3	0,4	8,0
	500,0	56,1	1,2	4,9
	600,0	68,6	1,9	4,0
<b>Acero AISI 4340</b> $\sigma_e = 710 \text{ MPa}$	300,0	33,9	0,4	20,9
	500,0	55,4	1,2	12,8
	600,0	62,8	1,9	11,3
<b>Acero AISI 1020</b> $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$	300,0	34,2	0,4	10,2
	500,0	55,9	1,2	6,3
	600,0	63,6	2,0	5,5

Tabla 25. Resultados análisis estático diseño 4 base giratoria. Fuente: Propia.

RESULTADOS DISEÑO 5 (Sección circular maciza)				
MATERIAL	LONGITUD (mm)	Tensión max. (MPa)	Desplazamiento max. (mm)	Factor Seguridad min.
<b>Acero S-275-JR</b> $\sigma_e = 275 \text{ MPa}$	300,0	40,0	0,5	6,9
	500,0	66,8	1,5	4,1
	600,0	80,1	2,4	3,4
<b>Acero AISI 4340</b> $\sigma_e = 710 \text{ MPa}$	300,0	40,0	0,5	17,7
	500,0	67,2	1,5	10,6
	600,0	80,4	2,4	8,8
<b>Acero AISI 1020</b> $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$	300,0	40,0	0,5	8,7
	500,0	66,9	1,5	5,2
	600,0	80,1	2,4	4,4

Tabla 26. Resultados análisis estático diseño 5 base giratoria. Fuente: Propia.

RESULTADOS DISEÑO 6 (Sección circular hueca)				
MATERIAL	LONGITUD (mm)	Tensión max. (MPa)	Desplazamiento max. (mm)	Factor Seguridad min.
<b>Acero S-275-JR</b> $\sigma_e = 275 \text{ MPa}$	300,0	45,1	0,6	6,1
	500,0	74,9	1,8	3,7
	600,0	89,9	2,8	3,1
<b>Acero AISI 4340</b> $\sigma_e = 710 \text{ MPa}$	300,0	45,8	0,6	15,5
	500,0	76,0	1,8	9,3
	600,0	91,2	2,9	7,8
<b>Acero AISI 1020</b> $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$	300,0	45,3	0,6	7,7
	500,0	75,2	1,8	4,7
	600,0	90,2	2,9	3,9

Tabla 27. Resultados análisis estático diseño 6 base giratoria. Fuente: Propia.

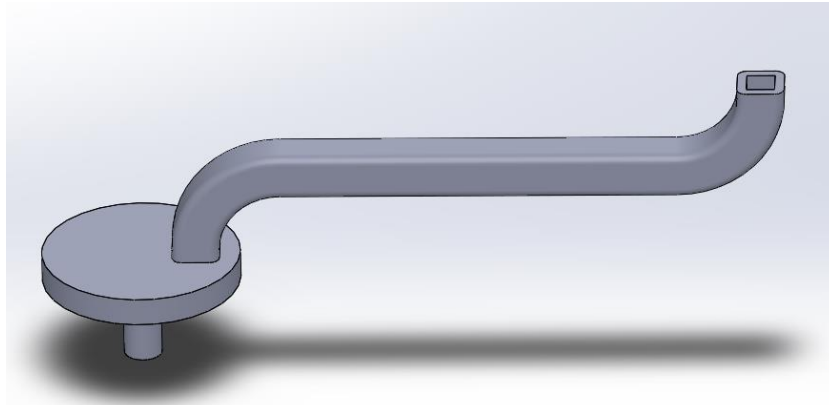
Una vez recopilados todos los datos se procede a la selección de la mejor opción. Los criterios para tomar esta decisión serán los siguientes:

- Coeficiente de seguridad  $> 3$
- Desplazamiento máximo  $< 2 \text{ mm}$
- Preferible secciones huecas.
- Preferible mayor longitud.
- Preferible acero con menor límite elástico.

Examinando los datos anteriores se concluye que la alternativa seleccionada será el diseño de la base giratoria con barras de **sección rectangular hueca, 600 mm de longitud y S-275-JR**.

#### 9.4.5. Análisis a fatiga Base Giratoria

Se realizará un análisis a fatiga de la base giratoria para saber cuantos ciclos es capaz de soportar el componente antes de su rotura. El elemento que se analizará será la barra de sección rectangular hueca que irá soldada a la base. Para realizar estos cálculos se han consultado los apuntes de la asignatura *Cálculo y Diseño de Máquinas* del tercer curso del Grado en Ingeniería Mecánica.



*Ilustración 85. Componente a analizar ante carga variable. Fuente: Propia.*

La carga variará entre **0 N** y **1250 N** correspondiente al peso del usuario y se ejercerá en el extremo de la barra. Esta carga variable hará flexionar la barra por lo que se tratará como un caso de **flexión alternada**. La sección con más riesgo de rotura será el extremo soldado a la base.

El material de este componente es un **acero S- 275-JR** con límite elástico **S<sub>y</sub>=275 MPa** y una resistencia última a tracción de **S<sub>ut</sub>=410 MPa**.

Se comenzará listando los valores de cálculo utilizados.

- CS = 1,5 (coeficiente de seguridad)
- A<sub>sección</sub>= 1514,16 mm<sup>2</sup> (área de la sección rectangular hueca)
- Acero laminado en caliente.
- q=0,9 (sensibilidad a la entalla)
- K<sub>t</sub>= 1,6 (factor concentrador de tensiones)
- Factor de confiabilidad del 90%.
- σ=8% (desviación para aceros)

Se comenzará calculando el límite de resistencia a fatiga (Se') y la resistencia a fatiga para 100 ciclos (Se<sub>10<sup>3</sup></sub>).

$$Se(10^3) = 0,9 \times Sut = 0,9 \times 410 = 369 \text{ MPa}$$

$$Se' = 0,5 \times Sut = 0,5 \times 410 = 205 \text{ MPa}$$

A continuación se calcularán los coeficientes modificadores.

### 1. Factor de superficie : $K_a$

Este factor tiene en cuenta la rugosidad del componente en función de su fabricación y acabado. La sensibilidad a la rugosidad superficial es mayor cuanto mayor es la resistencia del material.

Como se ha supuesto que el acero ha sido obtenido mediante laminación en caliente se cogerán los valores correspondientes.

$$K_a = a \cdot (S_{ut})^b$$

Acabado de superficie	Factor a		Exponente b
	kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o estirado en frío	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Forjado	39,9	272	-0,995

*Ilustración 86. Tabla para factor de superficie. Fuente: Apuntes Cálculo y Diseño de Máquinas.*

$$K_a = 57,7 \times (410)^{-0.718} = \mathbf{0,768}$$

### 2. Factor de tamaño: $K_b$

Como se está realizando un análisis a flexión alternada y además la sección no es circular, se deberá calcular un diámetro equivalente previamente al cálculo de este factor.

$$d_e = 0,808 \times (A_{seccion})^{0.5}$$

$$d_e = 0,808 \times (1514,16)^{0.5} = 31,44 \text{ mm}$$

Para diámetros comprendidos entre 8 y 250 mm para flexión alternada se tiene la siguiente fórmula.

$$K_b = 1,189 \times d^{-0.097}$$

$$K_b = 1,189 \times 31,44^{-0.097} = \mathbf{0,851}$$

### 3. Factor de carga: $K_q$

Para flexión alternada se tiene que el factor de carga es igual a la unidad.

$$K_q = \mathbf{1}$$

### 4. Factor de temperatura: $K_d$



El factor modificador debido a la variación de temperatura entre el ensayo y la temperatura de operación no se tendrá en cuenta por lo que es igual a la unidad.

$$K_d = 1$$

5. Factor de concentración de tensiones:  $K_f$

Este factor es debido a las posibles entallas que contenga la pieza las cuales actuarán como un concentrador de tensiones. En el caso analizado no se tiene ninguna entalla pero la unión soldada actuará como un concentrador de tensiones, por lo que será necesario aplicar este coeficiente.

Existen dos enfoques posibles a la hora de aplicar este factor: concentración de esfuerzos o reductor de resistencia. En este caso se aplicará el enfoque de **concentración de esfuerzos** debido a la **unión soldada**. Siguiendo este método, se deberá aplicar únicamente el coeficiente  $K_f$  sobre las tensiones alternas.

$$K_f = 1 + q \times (K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0,9 \times (1,6 - 1) = 1,54$$

6. Factor de confiabilidad:  $K_c$

La distribución de las resistencias a la fatiga es una distribución normal para un número fijo de ciclos, con una desviación típica o standard. Para tener en cuenta esta desviación y alcanzar una seguridad funcional alta se introduce este factor.

$$K_c = 1 - \sigma \cdot D$$

Probabilidad de vida	Factor de multiplicación de la desviación D
50	0
85	1
90	1.3
95	1.6
99	2.3
99.9	3.1
99.99	3.7

Ilustración 87. Tabla para factor de confiabilidad. Fuente: Apuntes Cálculo y Diseño de Máquinas.

$$K_f = 1 - 0,08 \times 1,3 = 1,196$$

Una vez calculados todos los factores modificadores se procede a calcular el nuevo límite de resistencia a fatiga ( $S_e$ ).

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_q \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_g \cdot K_c \cdot S'_e$$

$$S_e = 0.768 \times 0.851 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1.196 \times 205 = 160,24 \text{ MPa}$$



A continuación se procede a calcular las tensiones media y alterna que sufrirá la sección rectangular hueca ante la carga variable. Como se ha dicho anteriormente la fuerza máxima será de 1250 N y la mínima 0 N. El momento flector máximo y mínimo se calculará multiplicando las fuerzas por la distancia que exista entre el punto de aplicación de la carga y donde se encuentre la unión soldada. En esta zona se producirá el momento flector máximo.

$$M_{max} = 1250 \text{ N} \times 0,6 \text{ m} = 750 \text{ N m}$$

$$M_{min} = 0 \text{ N m}$$

$$M_m = M_a = \frac{750 - 0}{2} = 375 \text{ N m}$$

Tras calcular el momento flector medio y alterno se evalúan las tensiones medias y alternas, y sobre ellas se introducirá el factor modificador correspondiente al método de concentración de tensiones. Cabe destacar que para el cálculo de la inercia de la sección rectangular hueca se ha obviado el redondeo en las esquinas de la sección. Esto no afectará a los cálculos posteriores.

$$I = \frac{0,05^4}{12} - \frac{0,03^4}{12} = 4,53 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \text{ (inercia de la sección)}$$

$$\sigma_m = \frac{M_m \times c}{I} = \frac{375 \times 0,05}{4,53 \times 10^{-7}} = 41,39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{M_a \times c}{I} \times K_f = \frac{375 \times 0,05}{4,53 \times 10^{-7}} \times 1,54 = 63,74 \text{ MPa}$$

El siguiente paso en este análisis a fatiga será calcular la resistencia límite de fatiga para N ciclos. Para ello se utilizará el **criterio de Goodman**.

$$\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a}{S_N} = \frac{1}{CS}$$

$$\frac{41,39}{410} + \frac{63,74}{S_N} = \frac{1}{1,5}$$

$$S_N = 112,67 \text{ MPa}$$

Ya se tienen todos los valores necesarios para calcular el número de ciclos crítico para este componente ante una carga de flexión alternada. A continuación se presentará la gráfica S-N y mediante semejanza de triángulos se calculará el número de ciclos crítico.

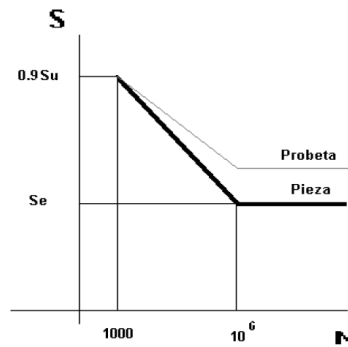


Ilustración 88. Gráfica S-N teórica para flexión alternada. Fuente: Apuntes Cálculo y Diseño de Máquinas.

$$\log S_N = \log Se_{10^3} + \frac{\log Se' - \log Se_{10^3}}{6 - 3} \times \log(N - 3)$$

$$\log 112,67 = \log 369 + \frac{\log 160,24 - \log 369}{6 - 3} \times \log(N - 3)$$

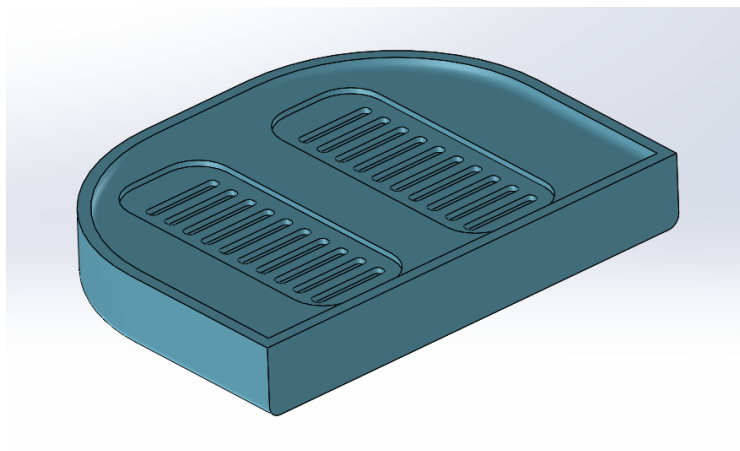
$$N = 18483 \text{ ciclos}$$

Tras realizar todos los cálculos se observa que el componente analizado fallará tras haber completado 18483 ciclos de carga debida al peso del usuario.

## 9.5. Plataforma

Este componente ha sido diseñado como una alternativa de uso a los asientos de transferencia. Los usuarios podrán utilizar el columpio subidos encima de la plataforma. De esta manera, podrán divertirse de diferentes maneras, tanto sentados en el asiento de transferencia como de pie en la plataforma. Existirán dos asientos y dos plataformas.

Esta pieza tiene la misma forma (misma línea de diseño) que el elemento fijo del asiento de transferencia (polietileno de alta densidad). Además contará con unos rebajes en forma de suela de zapatilla, para que no haya dudas de como utilizar el componente.



*Ilustración 89. Vista de la plataforma. Fuente: Propia.*

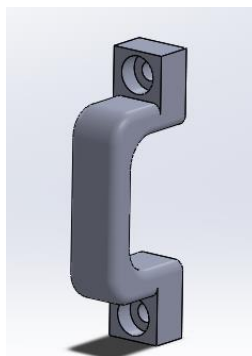
## 9.6. Elementos de accionamiento

Se llamará elementos de accionamiento a aquellos componentes que sirvan para dar impulso y hacer que la base giratoria gire. La solución conceptual elegida fue que el accionamiento pudiera ser realizado tanto por el usuario como por una persona externa, para los casos en los que el usuario no sea capaz.

De esta manera existirán dos componentes: por un lado los volantes, los cuales serán dos tubos circulares de acero soldados al eje central, uno a la altura del asiento y otro más o menos a la altura del pecho de un niño subido en la plataforma y por otro lado un asa la cual estará atornillada al respaldo del asiento.

### 9.6.1. Asa

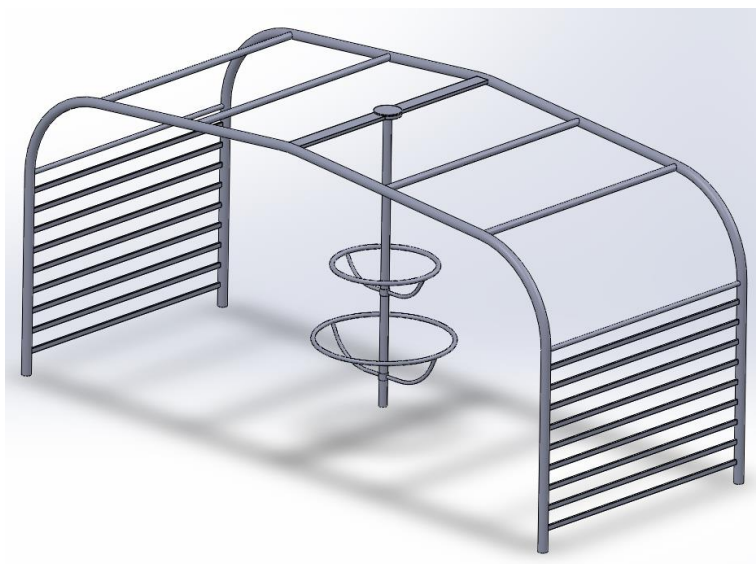
El diseño de este componente es muy simple así que no se entrará en profundidad. Es simplemente un asa de polietileno de alta densidad la cual se atornillará al respaldo del asiento. La función de este elemento, como se ha comentado anteriormente, es que una persona externa y acompañante de un usuario discapacitado pueda dar impulso y accionar el giro de la base giratoria. Existirán dos unidades, una para cada asiento.



*Ilustración 90. Vista del asa. Fuente: Propia.*

### 9.6.2. Volantes

El segundo elemento de accionamiento serán los denominados volantes. Se trata de una serie de barras soldadas cuyo propósito principal es que los propios usuarios se den impulso para accionar el giro. Estos volantes irán soldados al eje principal, su perfil es circular y tienen un espesor de 2 mm.



*Ilustración 91. Vista de los volantes junto con la estructura. Fuente: Propia.*

## 10. DISEÑO EN DETALLE

Una vez se ha definido el diseño preliminar para cada uno de los componentes, el diseño en detalle pretende dar más profundidad al propio proyecto ahondando en temas capaces de dar un valor suplementario al trabajo realizado. Los temas que se analizarán a continuación serán la incorporación de juegos adicionales inclusivos y la asignación de colores para los componentes.

Además, en este apartado se incluirá toda la relación de planos necesaria para la fabricación y montaje de los diferentes componentes.

### 10.1. Asignación de colores

Para dotar de mayor interés al proyecto en cuanto inclusión de personas con capacidades diferentes se refiere, se valorará que tipo de colores se van a asignar a los diferentes componentes. El objetivo de este apartado es que personas con determinadas discapacidades visuales, como puede ser la ceguera parcial, personas con baja visión, glaucoma o daltonismo, puedan sentirse cómodas a la hora de usar el área recreativa en cuestión.

Una de las discapacidades visuales más común es el daltonismo. El daltonismo es una afección en la cual no se pueden ver los colores de manera normal. También se conoce como deficiencia de color. En el daltonismo generalmente la persona no puede distinguir entre ciertos colores, siendo lo más común confundir las tonalidades verdes con las rojas [17]. De esta manera **se evitará el uso del color rojo o bien del color verde.**

Para las personas con una problemática de baja visión se recomienda el uso de **colores llamativos y con grandes contrastes**, con el objetivo de que puedan identificarlos más fácilmente.

Se muestra una ilustración del diseño final del área recreativa con los colores asignados.

Los colores asignados son orientativos. En los planos se representará el conjunto con los colores base del material seleccionado. Los colores a elegir para la pintura de los componentes se dejarán a elección del cliente.

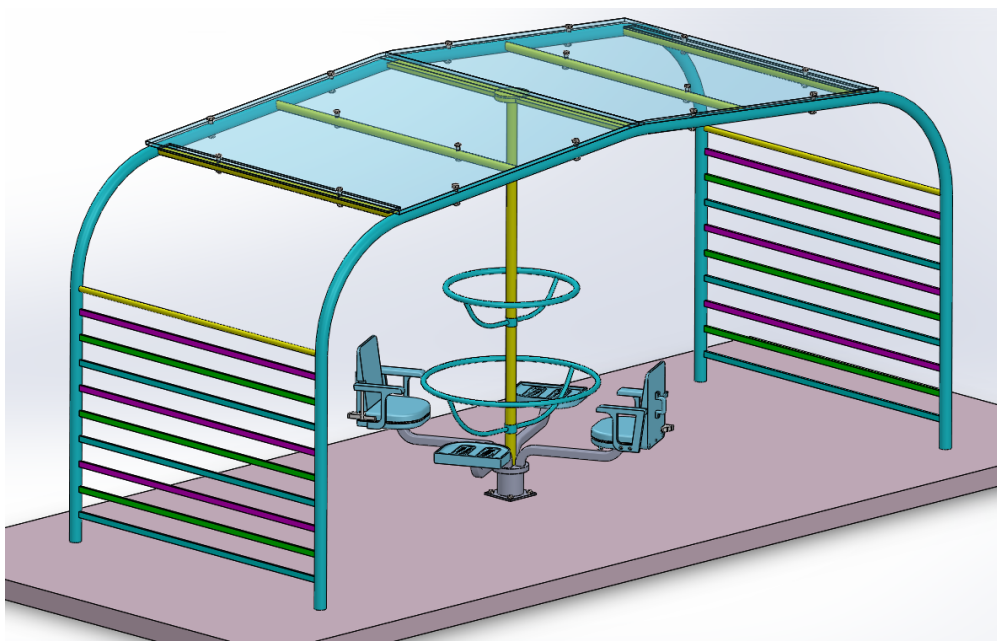


Ilustración 92. Vista del área recreativa diseñada con los colores asignados. Fuente: Propia.

## 10.2. Incorporación de elementos recreativos inclusivos

Como se ha explicado en el apartado 9.3.1 *Diseño Inicial de la Estructura* se han incorporado unas barras de acero en los laterales de la estructura con el fin de albergar juegos inclusivos.

Por un lado se incorporará unas presas de escalada infantiles de diferentes colores con el fin de que los niños puedan jugar en caso de no haber sitio en los asientos ni plataformas. Esta presas se colocarán en ambos laterales. A priori, este **rocódromo infantil** está pensado para niños sin discapacidad.

Por otro lado, en la cara opuesta al rocódromo se incorporarán diferentes **juegos inclusivos**, como engranajes infantiles, volantes, etc. Estos juegos se colocarán a una altura de 50 cm aproximadamente con el objetivo de que niños en silla de ruedas puedan utilizarlos.

Para estos elementos inclusivos no se presentarán planos. Se adjuntan unas imágenes con las áreas laterales recreativas y el diseño finalizado.



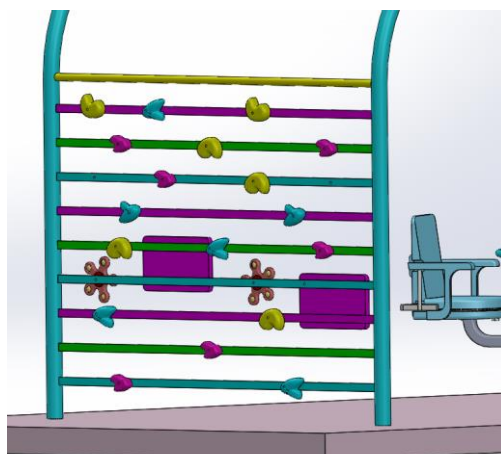


Ilustración 93. Vista del rocodromo para el área recreativa. Fuente: Propia.

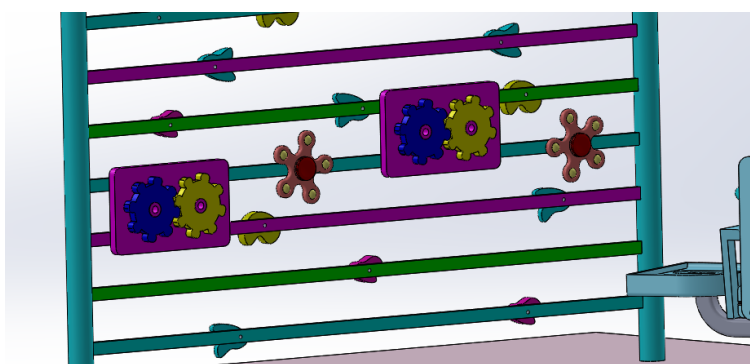


Ilustración 94. Vista de los juegos inclusivos introducidos. Fuente: Propia.

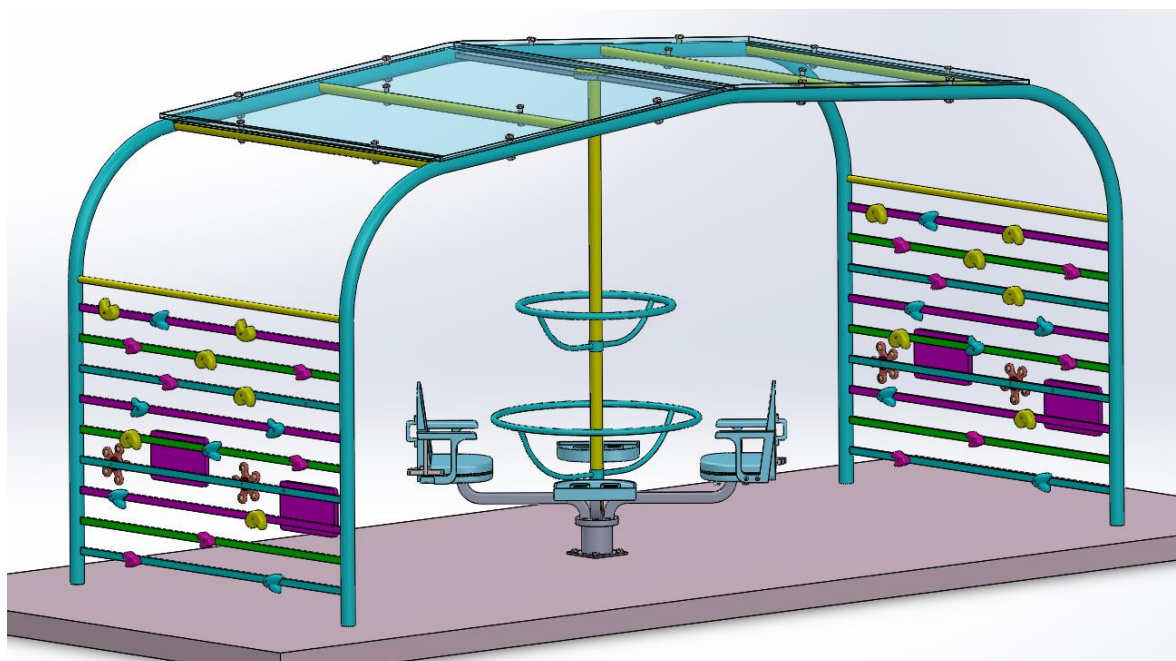


Ilustración 95. Vista del diseño final para el carrusel inclusivo. Fuente: Propia.



### 10.3. PLANOS

Con el fin de aclarar a que subensamblaje pertenece cada una de las piezas se ha decidido seguir la siguiente designación:

- Código del proyecto: **06018**
- Código del subensamblaje: 00,01,02 y 03.
- Código de la pieza: 01,02,03...

De esta manera una determinada pieza irá designada con estos tres códigos. Por ejemplo, **06018 – 01 – 04**, esta pieza pertenecerá al proyecto “*Diseño de Carrusel Inclusivo*”, formará parte del subensamblaje 01 y será la pieza número 4 dentro de este subensamblaje.

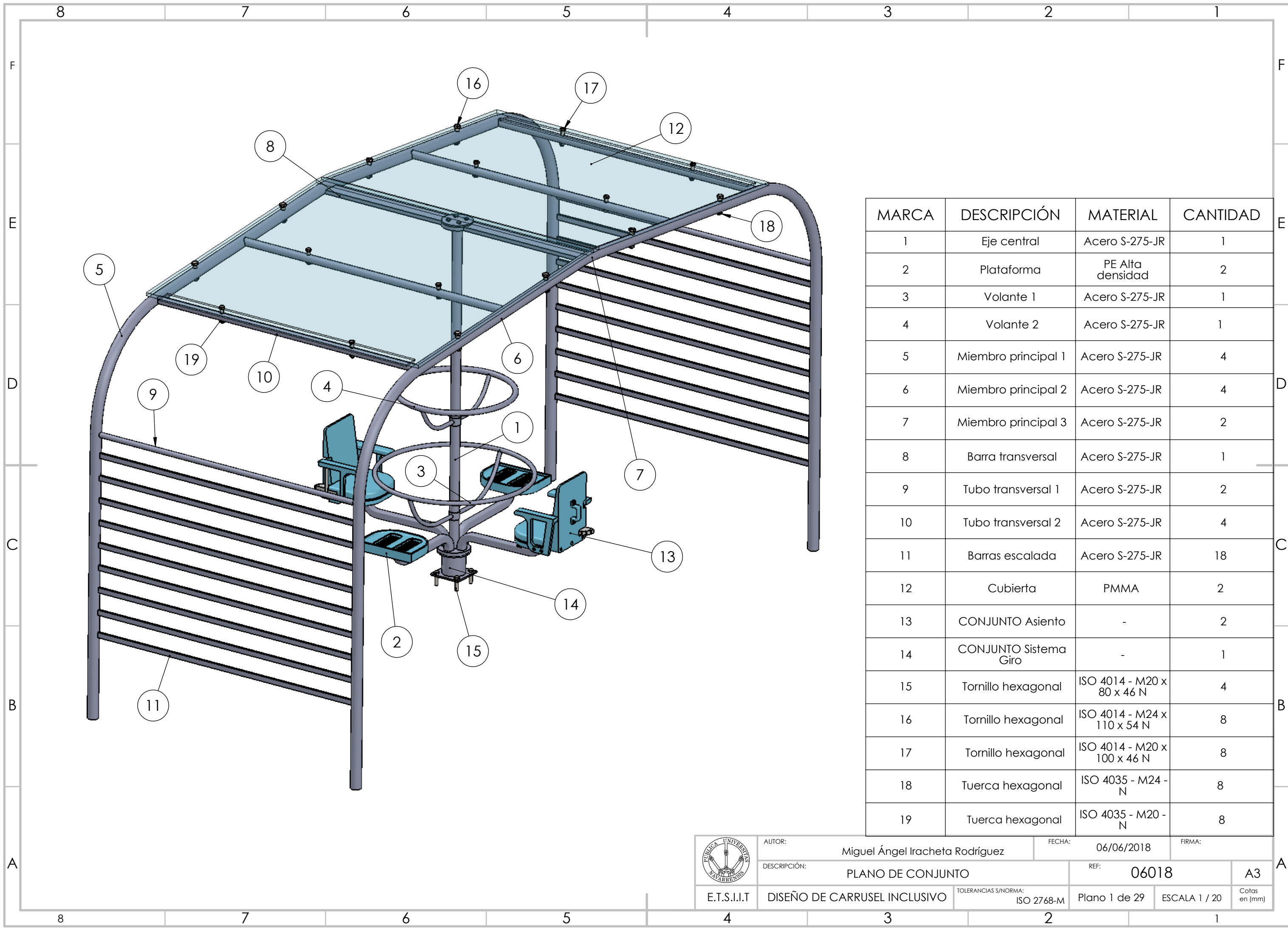
El **código 00** para el **subensamblaje** quiere decir que la pieza no pertenece a ningún subensamblaje en concreto, será un componente independiente dentro del ensamblaje total.

Además, las marcas de cada pieza en las listas de materiales de cada uno de los tres planos de conjunto seguirán la siguiente designación:

- Marcas **1-19** : Para los componentes mostrados en el plano de conjunto total. (Plano número 1)
- Marcas **A-K**: Para los componentes mostrados en el plano del subconjunto del asiento. (Plano número 14)
- Marcas **P-R**: Para los componentes mostrados en el plano del subconjunto del sistema de giro. (Plano número 26)

Se adjunta el índice de planos necesarios para fabricación y montaje del área recreativa diseñada, especificando su numeración, referencia y formato.

ÍNDICE DE PLANOS			
Nº Plano	Componente	Referencia	Formato
1	CONJUNTO Total	06018	A3
2	Eje central	06018-00-01	A4
3	Plataforma	06018-00-02	A3
4	Volante 1	06018-00-03	A3
5	Volante 2	06018-00-04	A3
6	Miembro principal 1	06018-01-01	A4
7	Miembro principal 2	06018-01-02	A4
8	Miembro principal 3	06018-01-03	A4
9	Barra transversal	06018-01-04	A4
10	Tubo transversal 1	06018-01-05	A4
11	Tubo transversal 2	06018-02-06	A4
12	Barras laterales	06018-01-07	A4
13	Cubierta	06018-01-08	A3
14	CONJUNTO Asiento	06018-02	A3
15	Asiento fijo	06018-02-01	A3
16	Chapa 1	06018-02-02	A4
17	Asiento móvil	06018-02-03	A3
18	Chapa 2	06018-02-04	A4
19	Pasador	06018-02-05	A4
20	Tope	06018-02-06	A4
21	Reposabrazos fijo	06018-02-07	A3
22	Reposabrazos móvil	06018-02-08	A3
23	Eje-piñón	06018-02-09	A4
24	Respaldo	06018-02-10	A3
25	Asa	06018-02-11	A3
26	Conjunto Stma. Giro	06018-03	A3
27	Carcasa	06018-03-01	A3
28	Soporte rodamiento	06018-03-02	A4
29	Base giratoria	06018-03-03	A3



MARCA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Eje central	Acero S-275-JR	1
2	Plataforma	PE Alta densidad	2
3	Volante 1	Acero S-275-JR	1
4	Volante 2	Acero S-275-JR	1
5	Miembro principal 1	Acero S-275-JR	4
6	Miembro principal 2	Acero S-275-JR	4
7	Miembro principal 3	Acero S-275-JR	2
8	Barra transversal	Acero S-275-JR	1
9	Tubo transversal 1	Acero S-275-JR	2
10	Tubo transversal 2	Acero S-275-JR	4
11	Barras escalada	Acero S-275-JR	18
12	Cubierta	PMMA	2
13	CONJUNTO Asiento	-	2
14	CONJUNTO Sistema Giro	-	1
15	Tornillo hexagonal	ISO 4014 - M20 x 80 x 46 N	4
16	Tornillo hexagonal	ISO 4014 - M24 x 110 x 54 N	8
17	Tornillo hexagonal	ISO 4014 - M20 x 100 x 46 N	8
18	Tuerca hexagonal	ISO 4035 - M24 - N	8
19	Tuerca hexagonal	ISO 4035 - M20 - N	8



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

DESCRIPCIÓN: PLANO DE CONJUNTO

REF: 06018

A3

E.T.S.I.I.T.

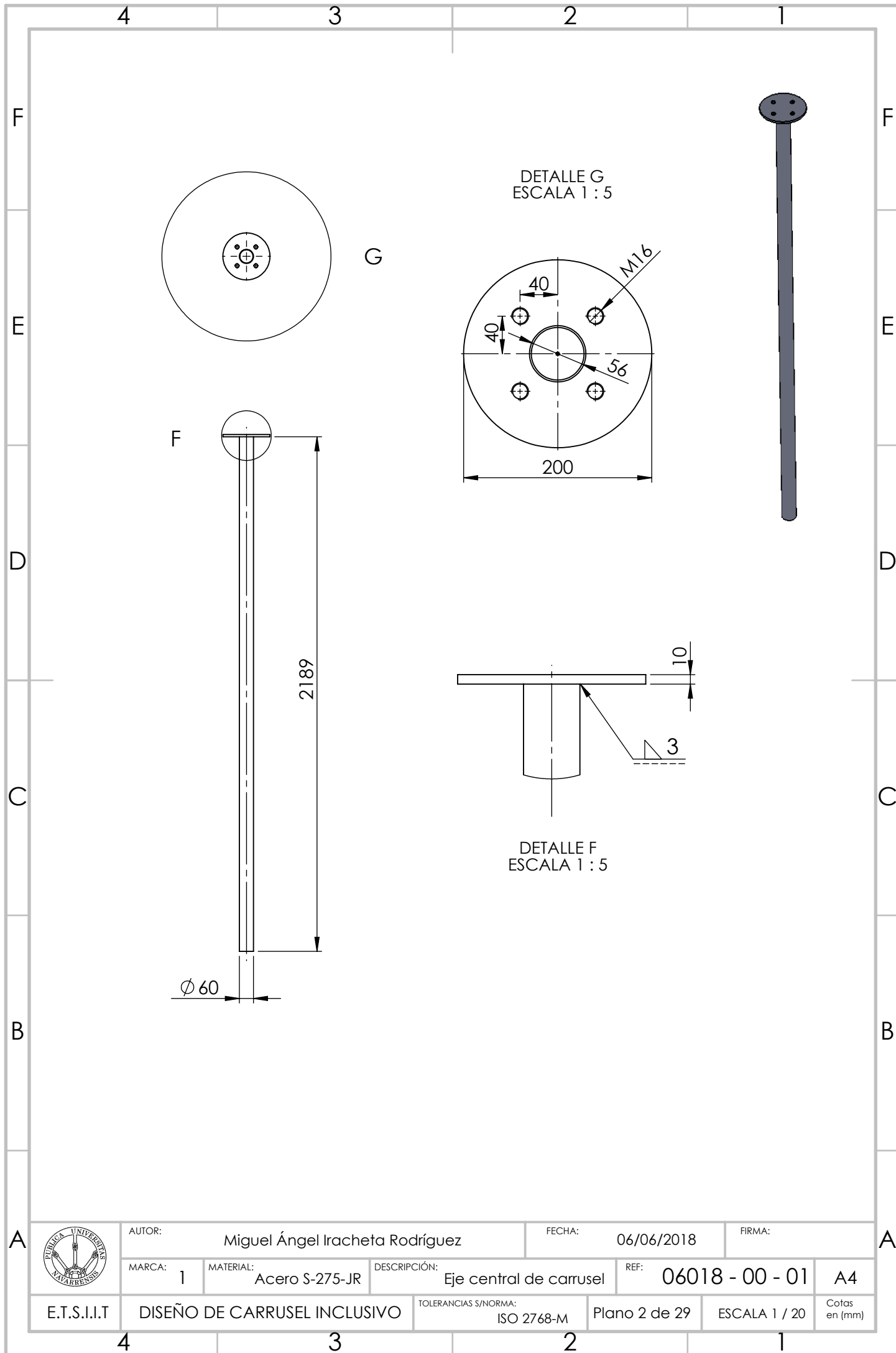
DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

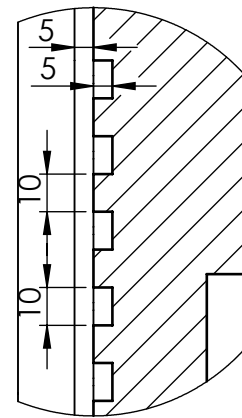
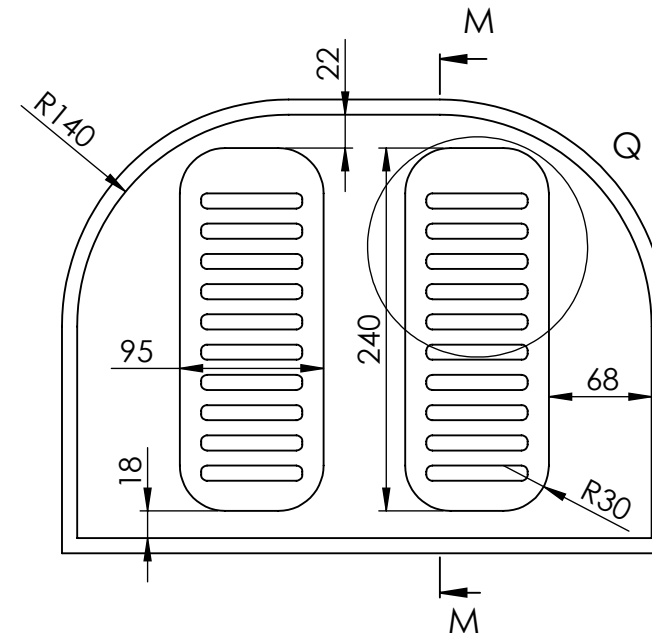
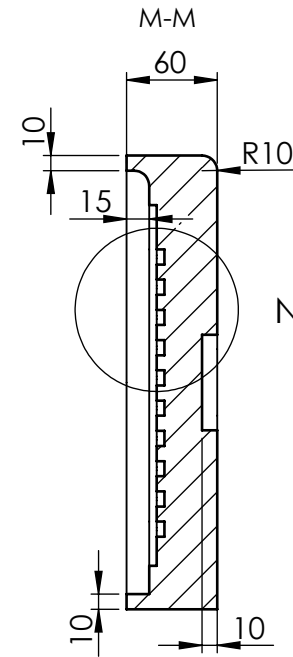
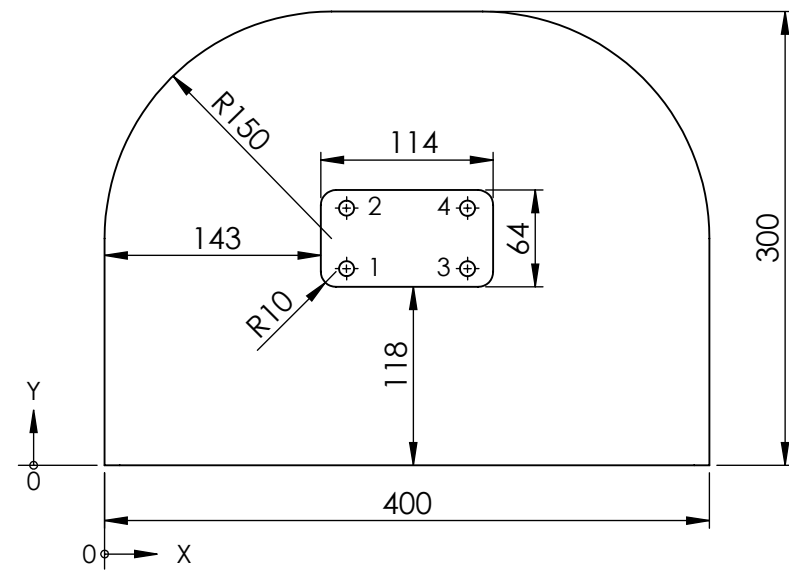
TOLERANCIAS S/NORMA: ISO 2768-M

Plano 1 de 29

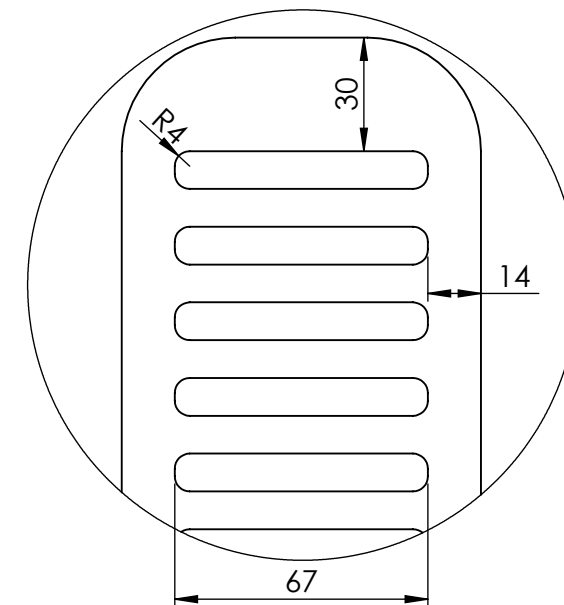
ESCALA 1 / 20

Cotas en (mm)





DETALLE N  
ESCALA 1 : 2



DETALLE Q  
ESCALA 1 : 2

TALADRO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
1	160	130	Ø 10 ± 10
2	160	170	
3	240	130	
4	240	170	

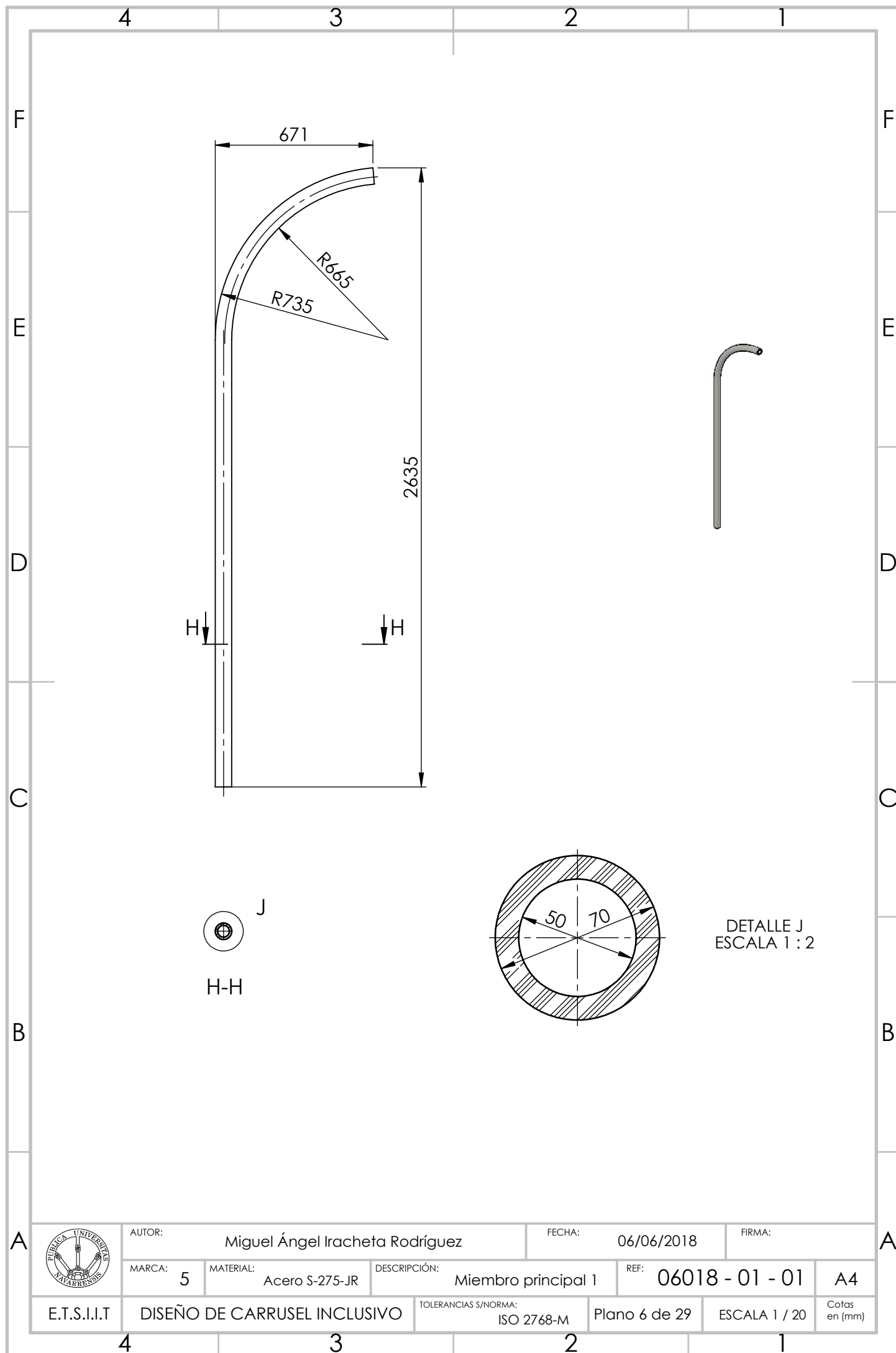
	AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA: 06/06/2018		FIRMA:	
	MARCA: 2	MATERIAL: PE Alta densidad	DESCRIPCIÓN: Plataforma		REF: 06018 - 00 - 02	A3
E.T.S.I.I.T.	DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO		TOLERANCIAS S/NORMA: ISO 2768-M		Plano 3 de 29	ESCALA 1 / 5
						Cotas en (mm)











AUTOR:	Miguel Ángel Iracheta Rodríguez			FECHA:	06/06/2018		FIRMA:	
	MARCA:	5	MATERIAL:	Acero S-275-JR	DESCRIPCIÓN:	Miembro principal 1	REF:	06018 - 01 - 01
E.T.S.I.I.T.		DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO			TOLERANCIAS S/NORMA:		ISO 2768-M	
					Plano 6 de 29		ESCALA 1 / 20	
							Cotas en (mm)	

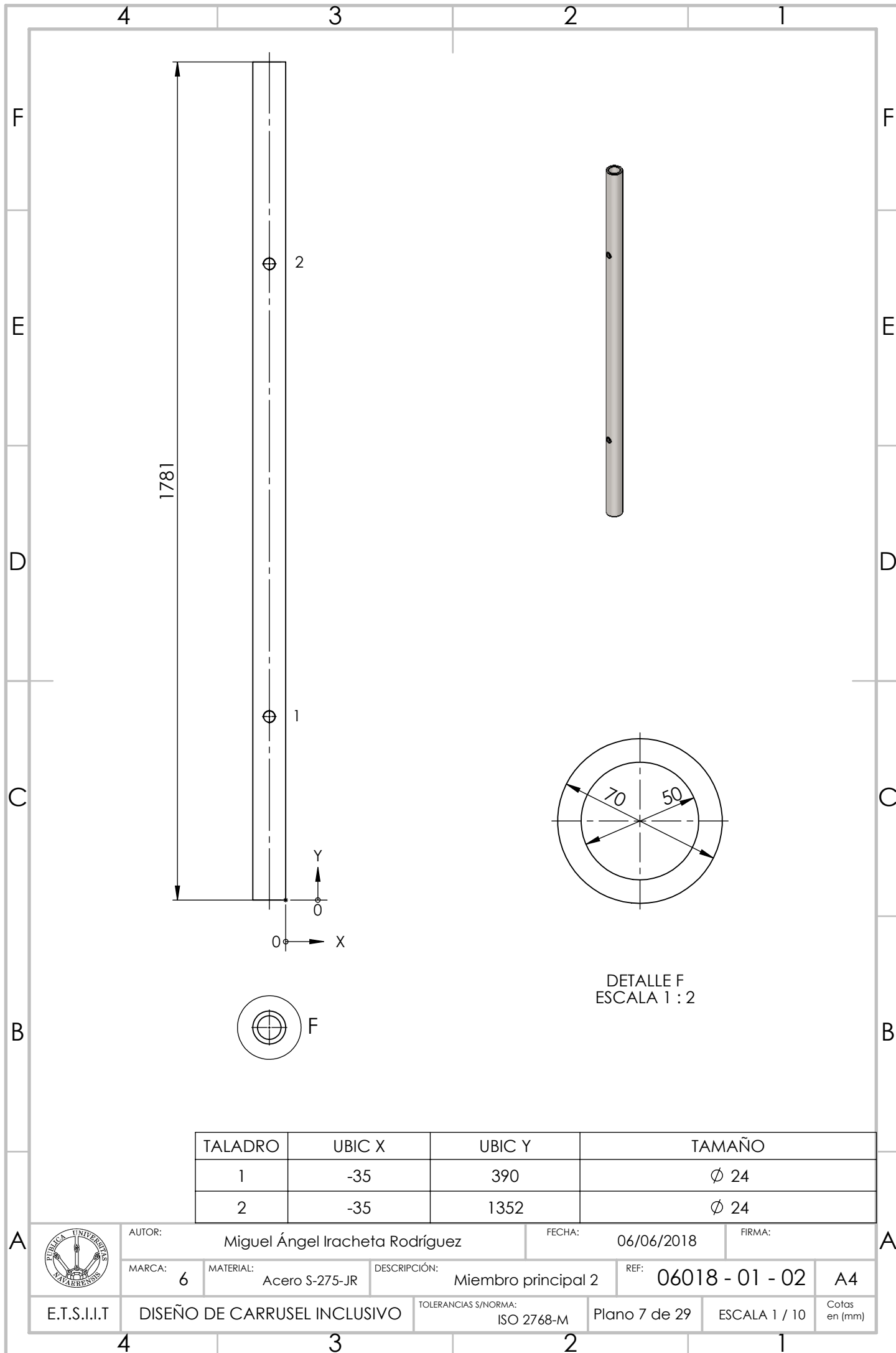
4

3

2

1

A4



4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

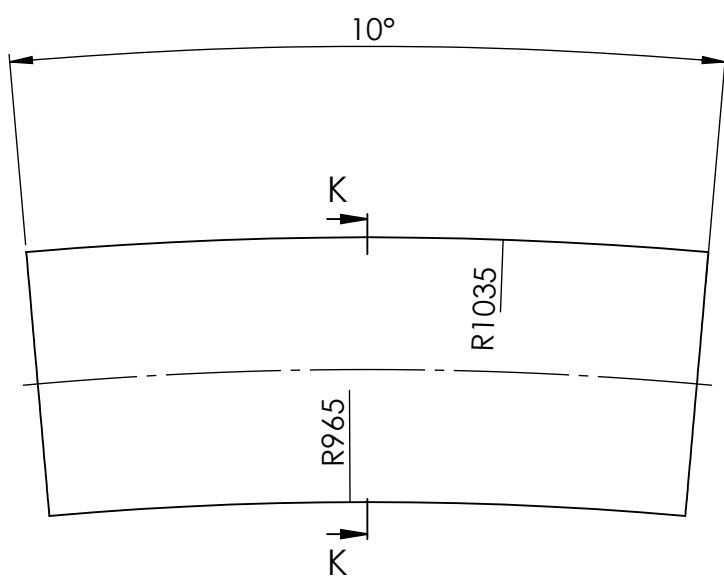
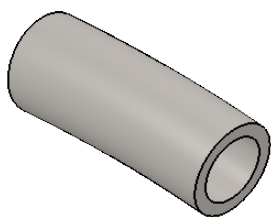
C

B

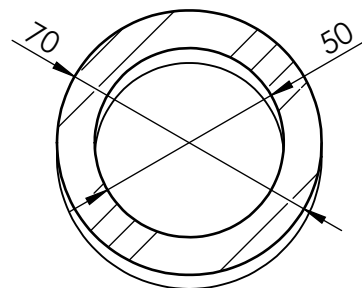
B

A

A



K-K



AUTOR:

Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA:

06/06/2018

FIRMA:

MARCA:

7

MATERIAL:

Acero S-275-JR

DESCRIPCIÓN:

Miembro principal 3

REF:

06018 - 01 - 03

A4

E.T.S.I.I.T

DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

TOLERANCIAS S/NORMA:

ISO 2768-M

Plano 8 de 29

ESCALA 1 / 2

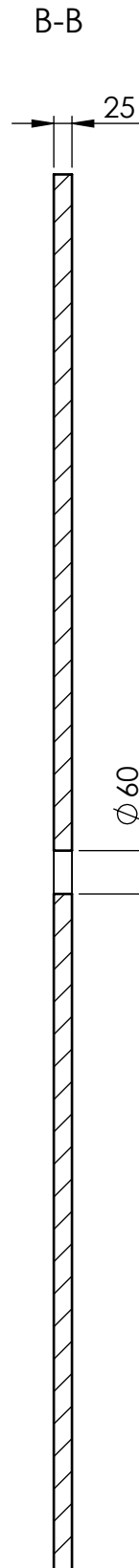
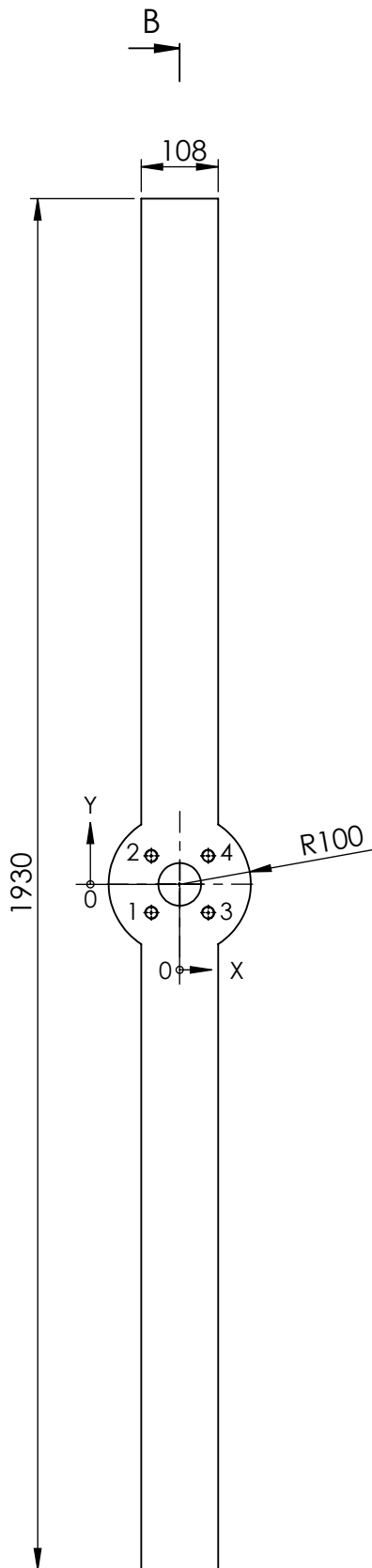
Cotas  
en (mm)

4

3

2

1



TALADRO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
1	-40	-40	M16 POR TODO
2	-40	40	
3	40	-40	
4	40	40	



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

MARCA: 8

MATERIAL: Acero S-275-JR

DESCRIPCIÓN: Barra Transversal

REF: 06018 - 01 - 04

A4

E.T.S.I.I.T

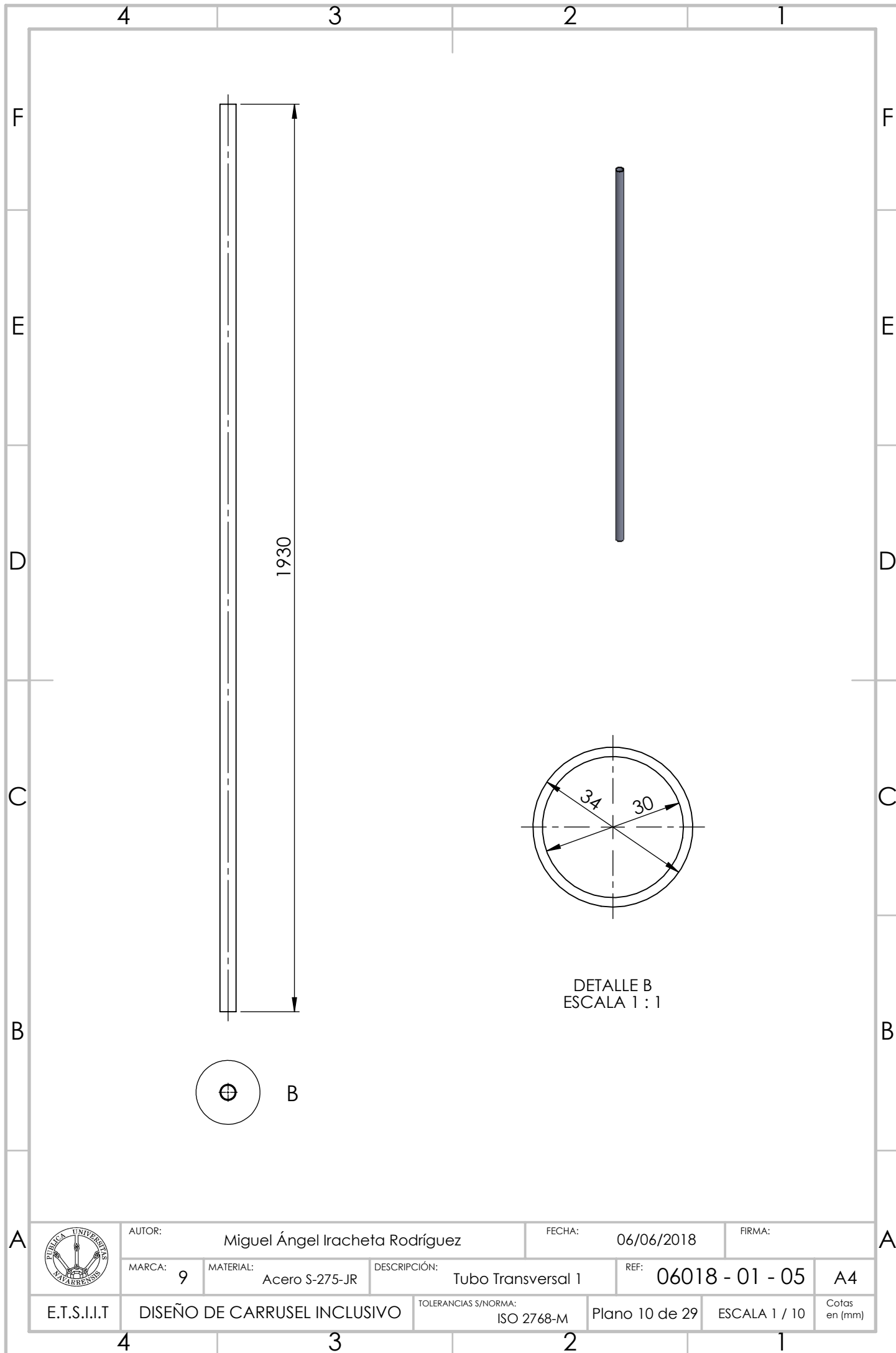
DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

Plano 9 de 29

ESCALA 1 / 10

Cotas  
en (mm)



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

MARCA: 9

MATERIAL: Acero S-275-JR

DESCRIPCIÓN: Tubo Transversal 1

REF: 06018 - 01 - 05

A4

E.T.S.I.I.T

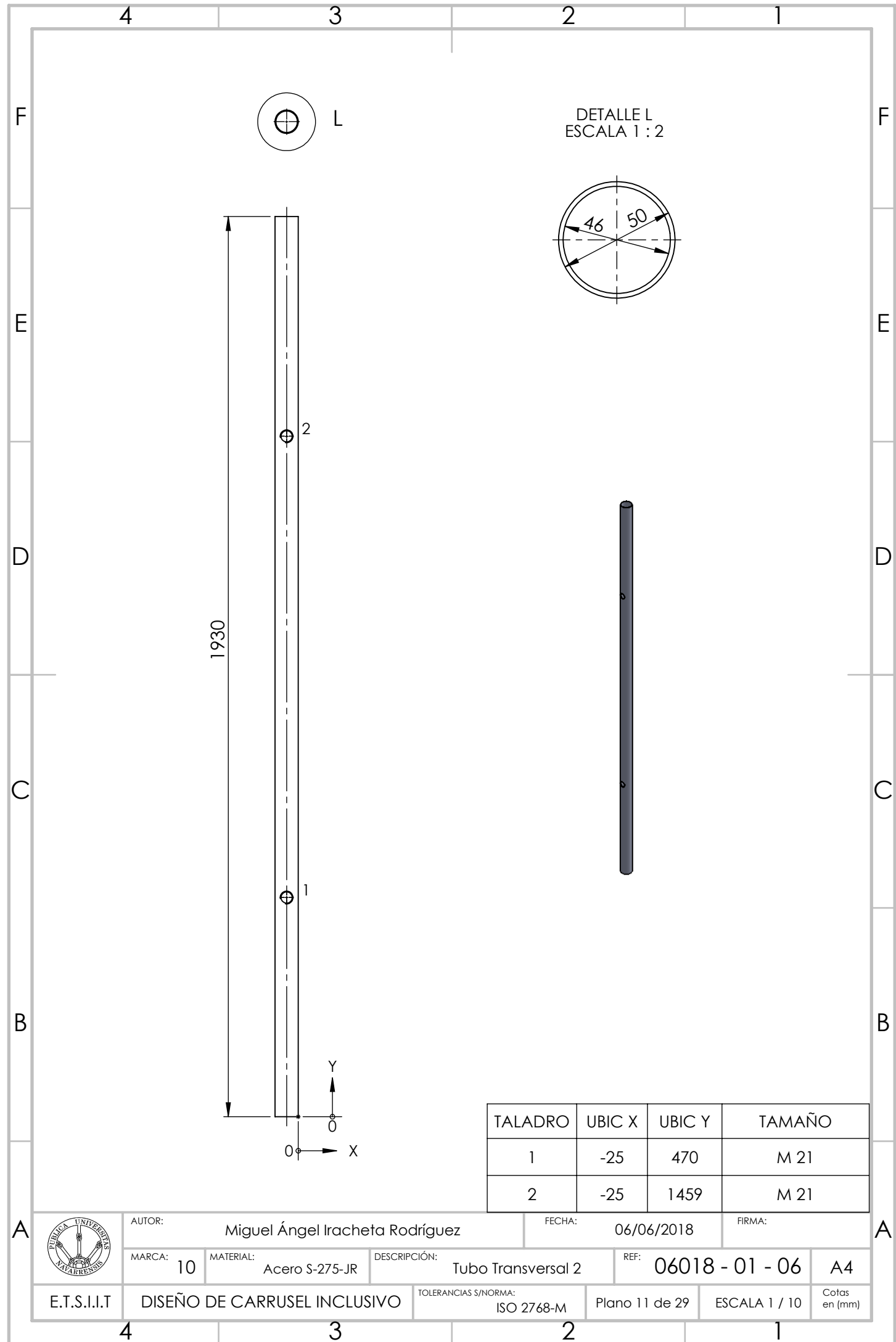
DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

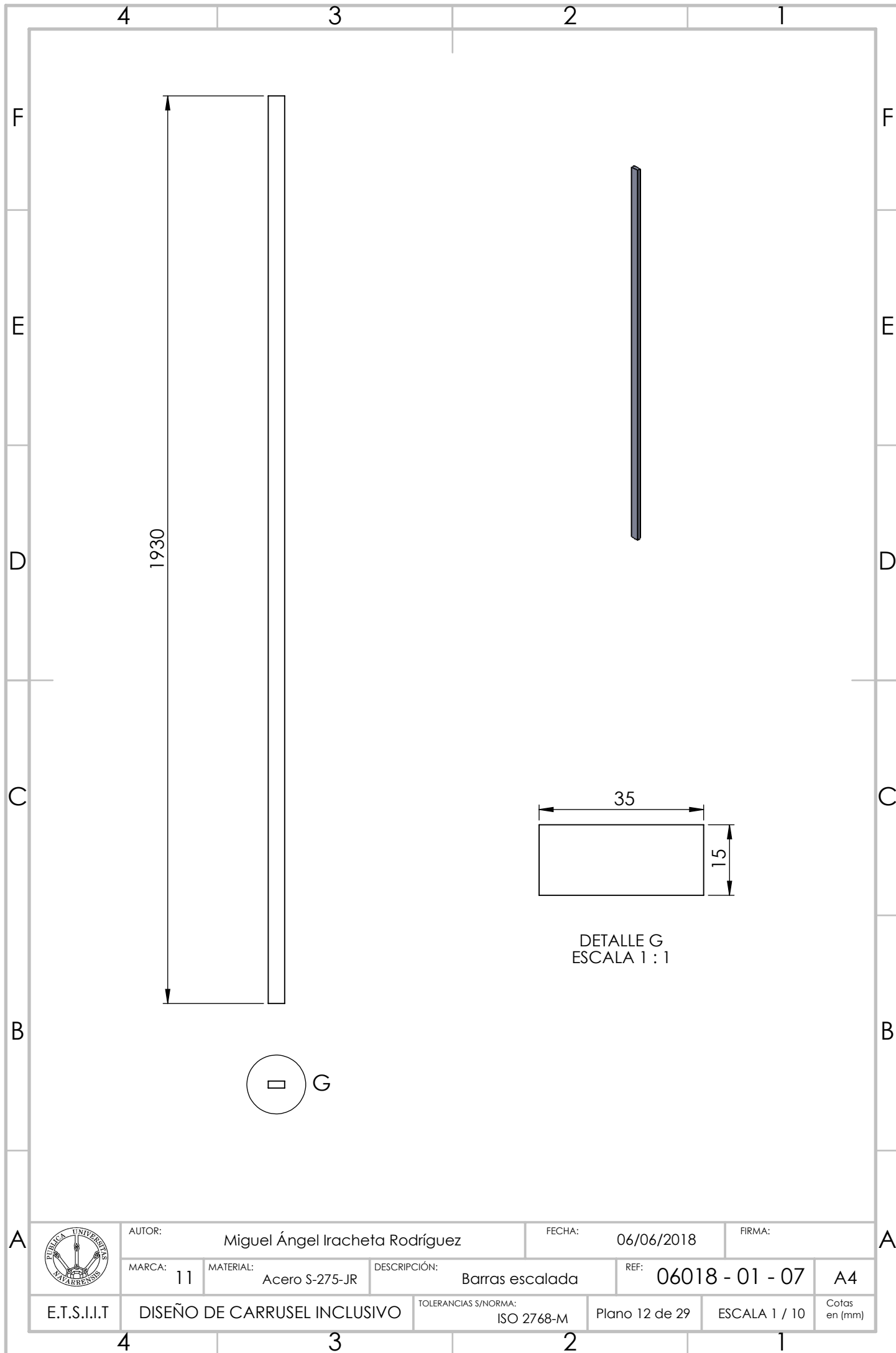
TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

Plano 10 de 29

ESCALA 1 / 10

Cotas  
en (mm)





AUTOR:

Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA:

06/06/2018

FIRMA:

MARCA:

11

MATERIAL:

Acero S-275-JR

DESCRIPCIÓN:

Barras escalada

REF:

06018 - 01 - 07

A4

E.T.S.I.I.T.

DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

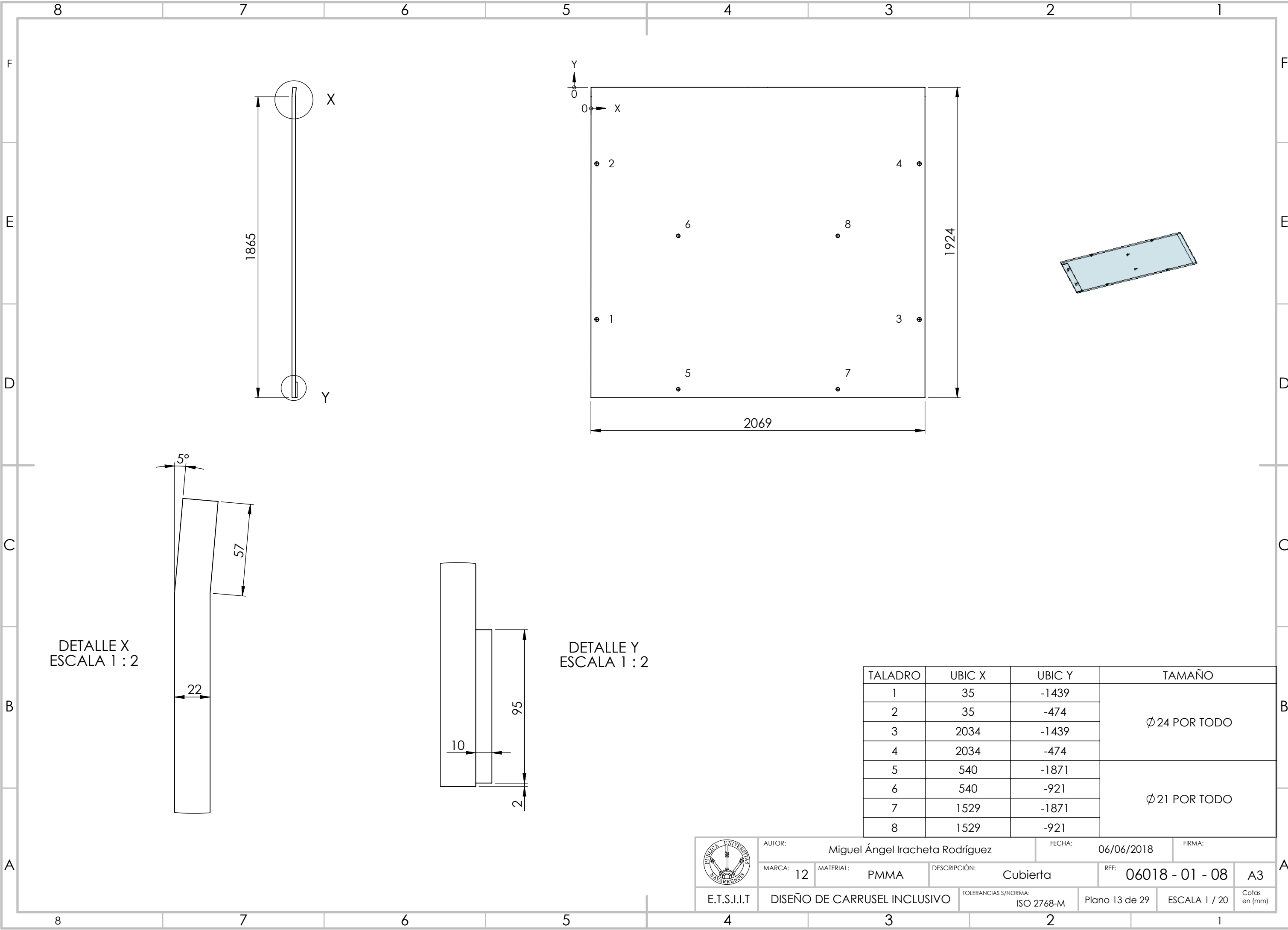
TOLERANCIAS S/NORMA:

ISO 2768-M

Plano 12 de 29

ESCALA 1 / 10

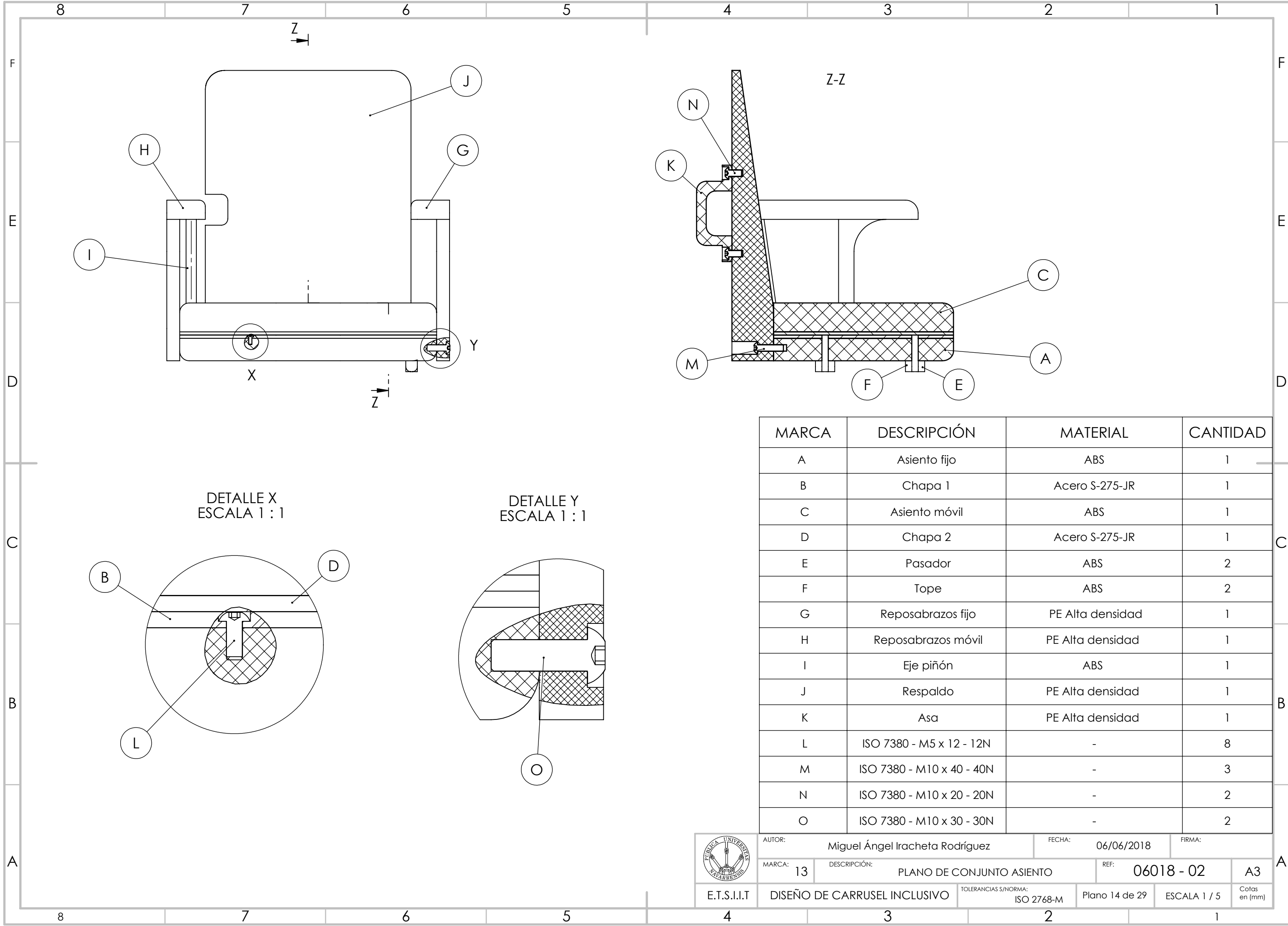
Cotas  
en (mm)



TALADRO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
1	35	-1439	Ø 24 POR TODO
2	35	-474	
3	2034	-1439	
4	2034	-474	
5	540	-1871	Ø 21 POR TODO
6	540	-921	
7	1529	-1871	
8	1529	-921	

	AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA: 06/06/2018		FIRMA:	
	MARCA: 12	MATERIAL: PMMA	DESCRIPCIÓN: Cubierta		REF: 06018 - 01 - 08	A3
E.T.S.I.I.T.	DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO		TOLERANCIAS S/NORMA: ISO 2768-M	Plano 13 de 29	ESCALA 1 / 20	Cotas en (mm)

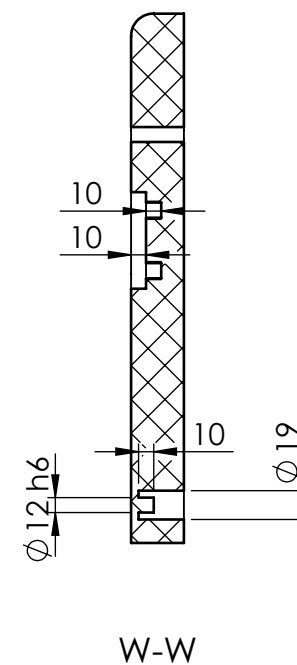
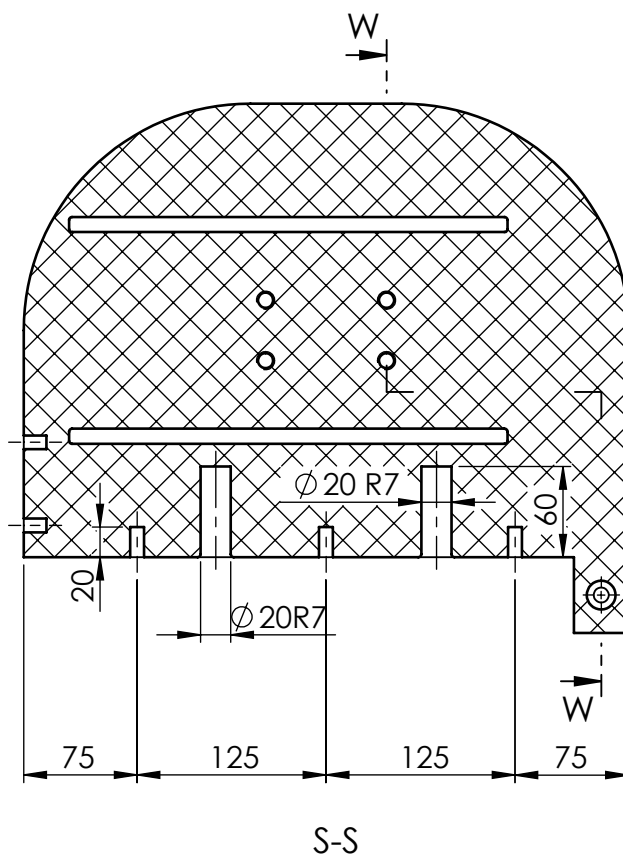
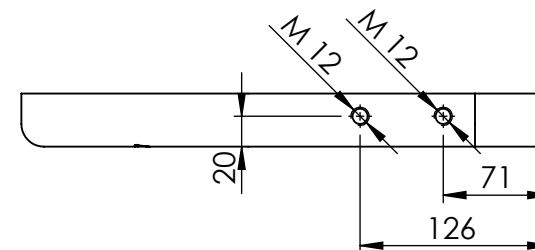
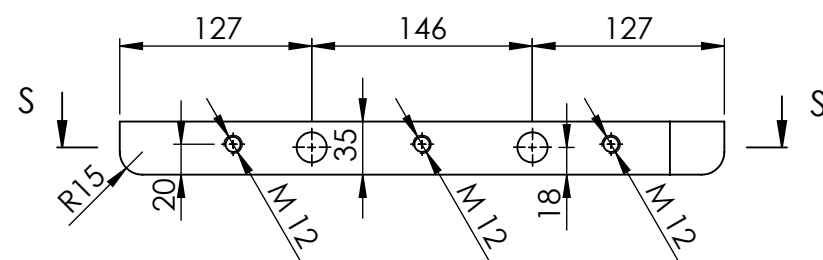
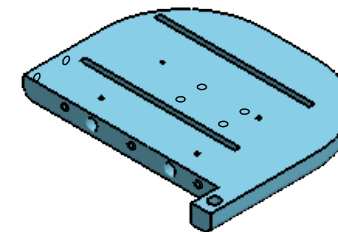
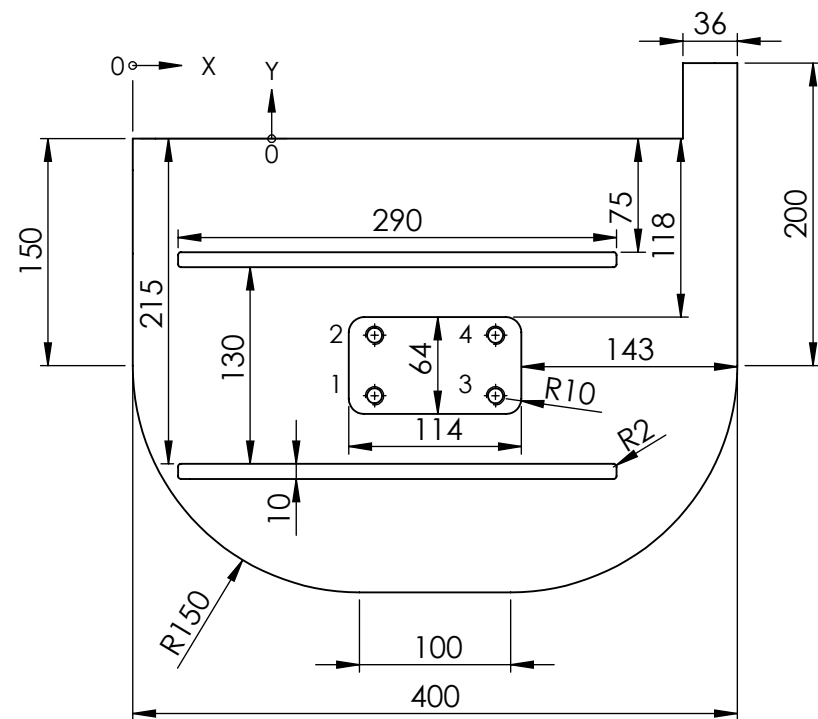





MARCA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
A	Asiento fijo	ABS	1
B	Chapa 1	Acero S-275-JR	1
C	Asiento móvil	ABS	1
D	Chapa 2	Acero S-275-JR	1
E	Pasador	ABS	2
F	Tope	ABS	2
G	Reposabrazos fijo	PE Alta densidad	1
H	Reposabrazos móvil	PE Alta densidad	1
I	Eje piñón	ABS	1
J	Respaldo	PE Alta densidad	1
K	Asa	PE Alta densidad	1
L	ISO 7380 - M5 x 12 - 12N	-	8
M	ISO 7380 - M10 x 40 - 40N	-	3
N	ISO 7380 - M10 x 20 - 20N	-	2
O	ISO 7380 - M10 x 30 - 30N	-	2



AUTOR:	Miguel Ángel Iracheta Rodríguez	FECHA:	06/06/2018	FIRMA:	
MARCA:	13	DESCRIPCIÓN:	PLANO DE CONJUNTO ASIENTO	REF:	06018 - 02
E.T.S.I.I.T	DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO	TOLERANCIAS S/NORMA:	ISO 2768-M	Plano 14 de 29	ESCALA 1 / 5
					Cotas en (mm)



TALADRO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
1	160	-170	Ø 10 ± 10
2	160	-130	
3	240	-170	
4	240	-130	

	AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA: 06/06/2018		FIRMA:	
	MARCA: A	MATERIAL: ABS	DESCRIPCIÓN: Asiento Fijo		REF: 06018 - 02 - 01	A3
E.T.S.I.I.T.	DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO		TOLERANCIAS S/NORMA: ISO 2768-M	Plano 15 de 29	ESCALA 1 / 5	Cotas en (mm)

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

C

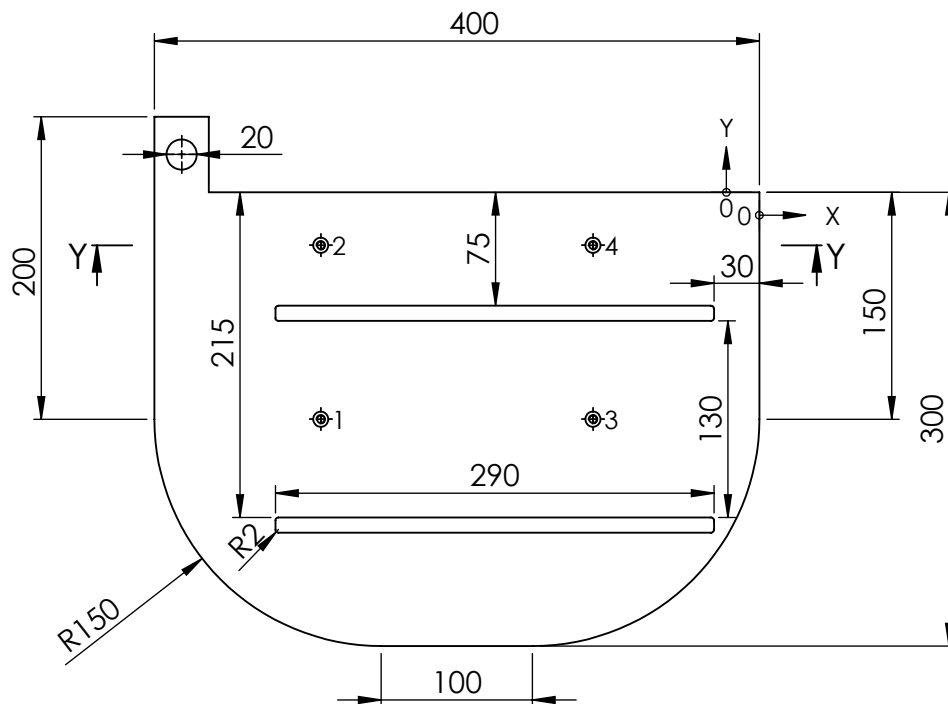
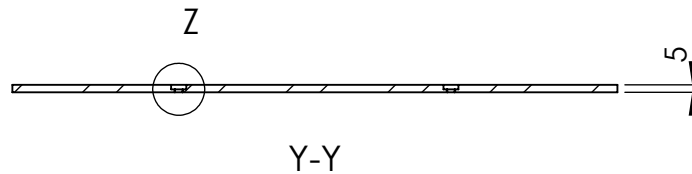
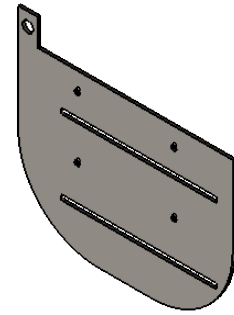
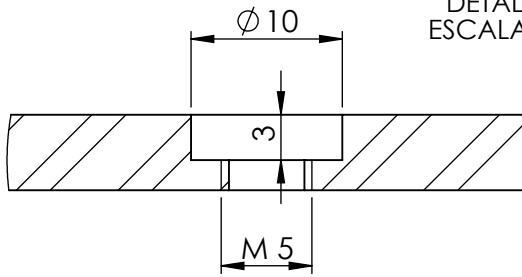
B

B

A

A

DETALLE Z  
ESCALA 2 : 1



TALADRO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
1	-290	-150	Ø 5 POR TODO
2	-290	-35	
3	-110	-150	
4	-110	-35	



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

MARCA: B

MATERIAL: Acero S-275-JR

DESCRIPCIÓN: Chapa 1

REF: 06018 - 02 - 02

A4

E.T.S.I.I.T

DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

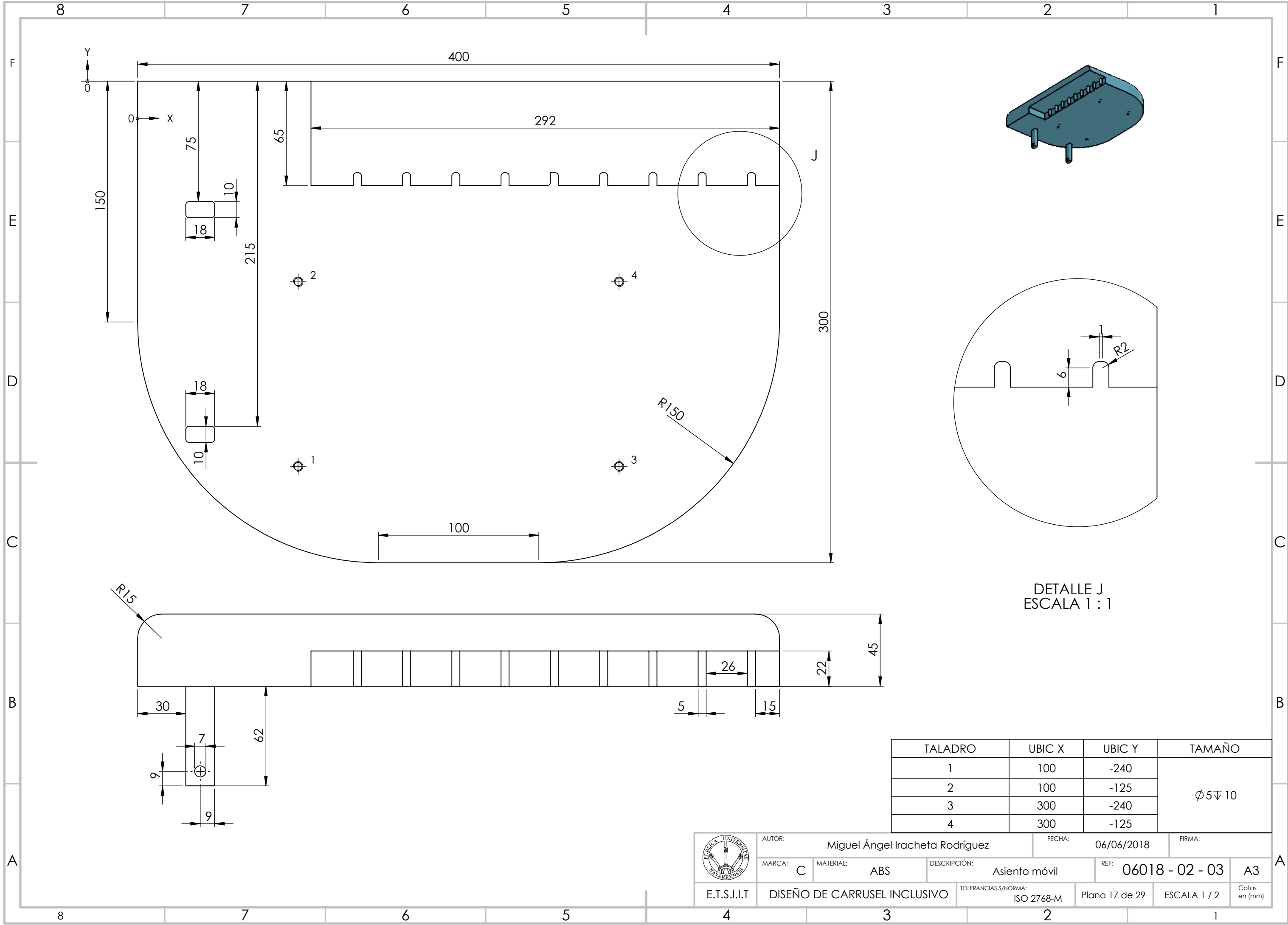
TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

Plano 16 de 29

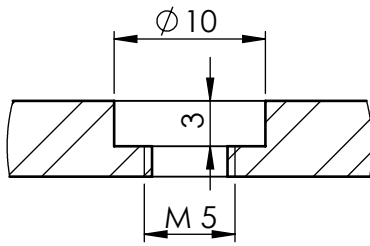
ESCALA 1 / 5

Cotas  
en (mm)

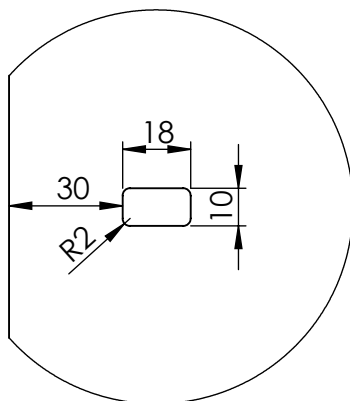
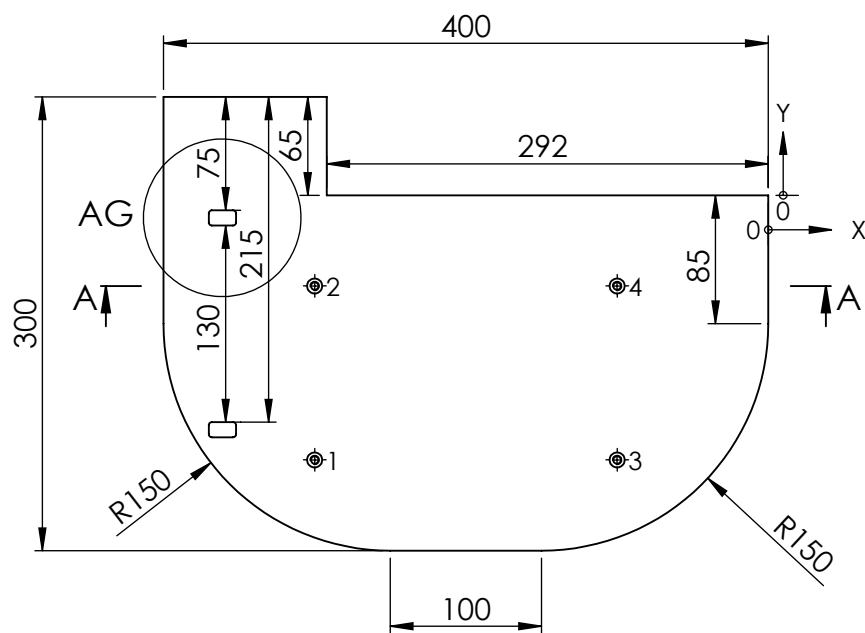
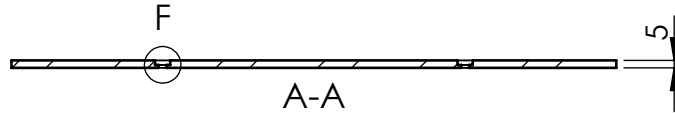
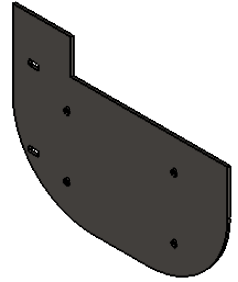
4 3 2 1



AUTOR:	Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA:	06/06/2018	FIRMA:
MARCA:	C	MATERIAL:	ABS	DESCRIPCIÓN:	Asiento móvil
REF:	06018 - 02 - 03		A3		
TOLERANCIAS S/NORMA:	ISO 2768-M		Plano 17 de 29	ESCALA 1 / 2	Cotas en (mm)



DETALLE F  
ESCALA 2 : 1



DETALLE AG  
ESCALA 1 : 2

TALADRO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
1	-300	-175	Ø 5 POR TODO
2	-300	-60	
3	-100	-175	
4	-100	-60	



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

MARCA: D

MATERIAL: Acero S-275-JR

DESCRIPCIÓN:

Chapa 2

REF: 06018 - 02 - 04

A4

E.T.S.I.I.T

DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

Plano 18 de 29

ESCALA 1 / 5

Cotas  
en (mm)

4 3 2 1

F

F

E

E

D

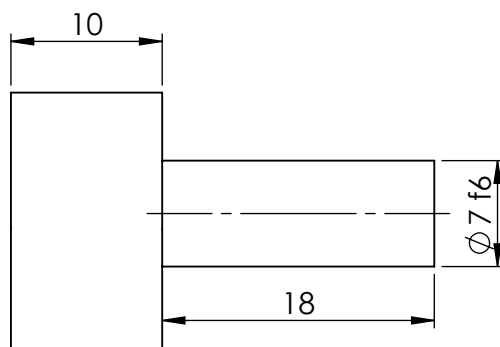
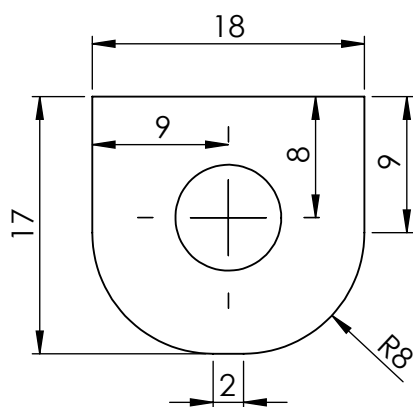
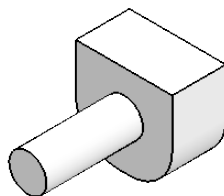
D

C

C

B

B



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

MARCA: E

MATERIAL: ABS

DESCRIPCIÓN: Pasador

REF: 06018 - 02 - 05

A4

E.T.S.I.I.T

DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

Plano 19 de 29

ESCALA 2 / 1

Cotas  
en (mm)

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

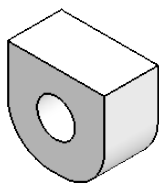
D

C

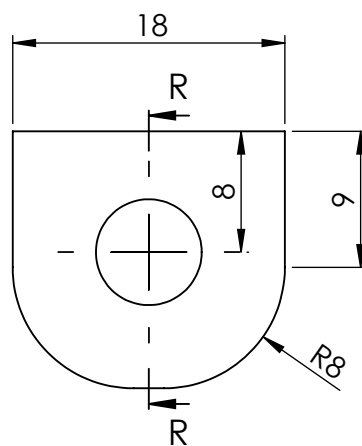
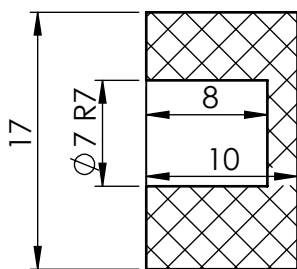
C

B

B



R-R



A

A



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

MARCA: F

MATERIAL: ABS

DESCRIPCIÓN: Tope

REF: 06018 - 02 - 06

A4

E.T.S.I.I.T

DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

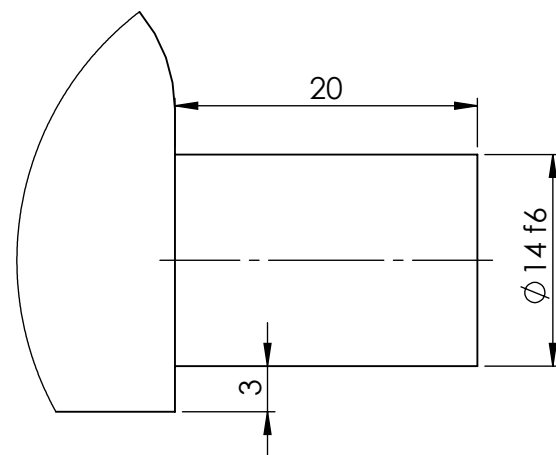
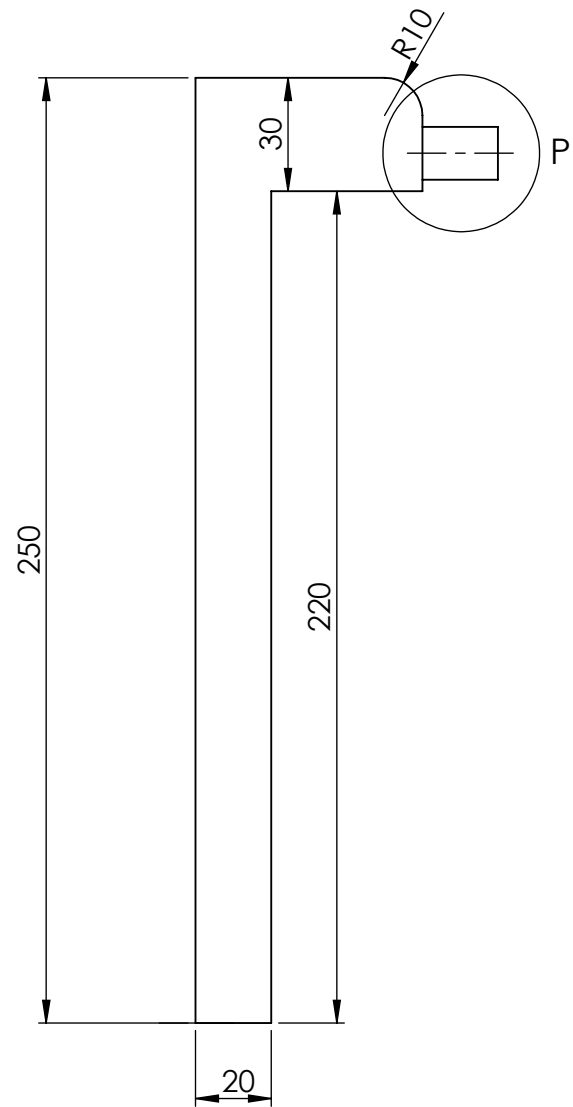
TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

Plano 20 de 29

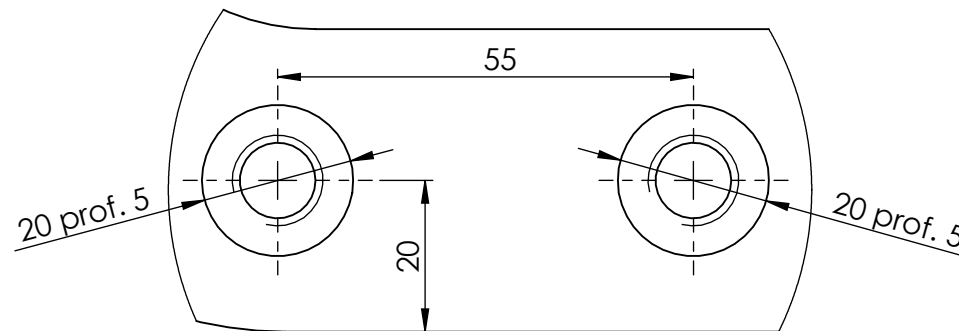
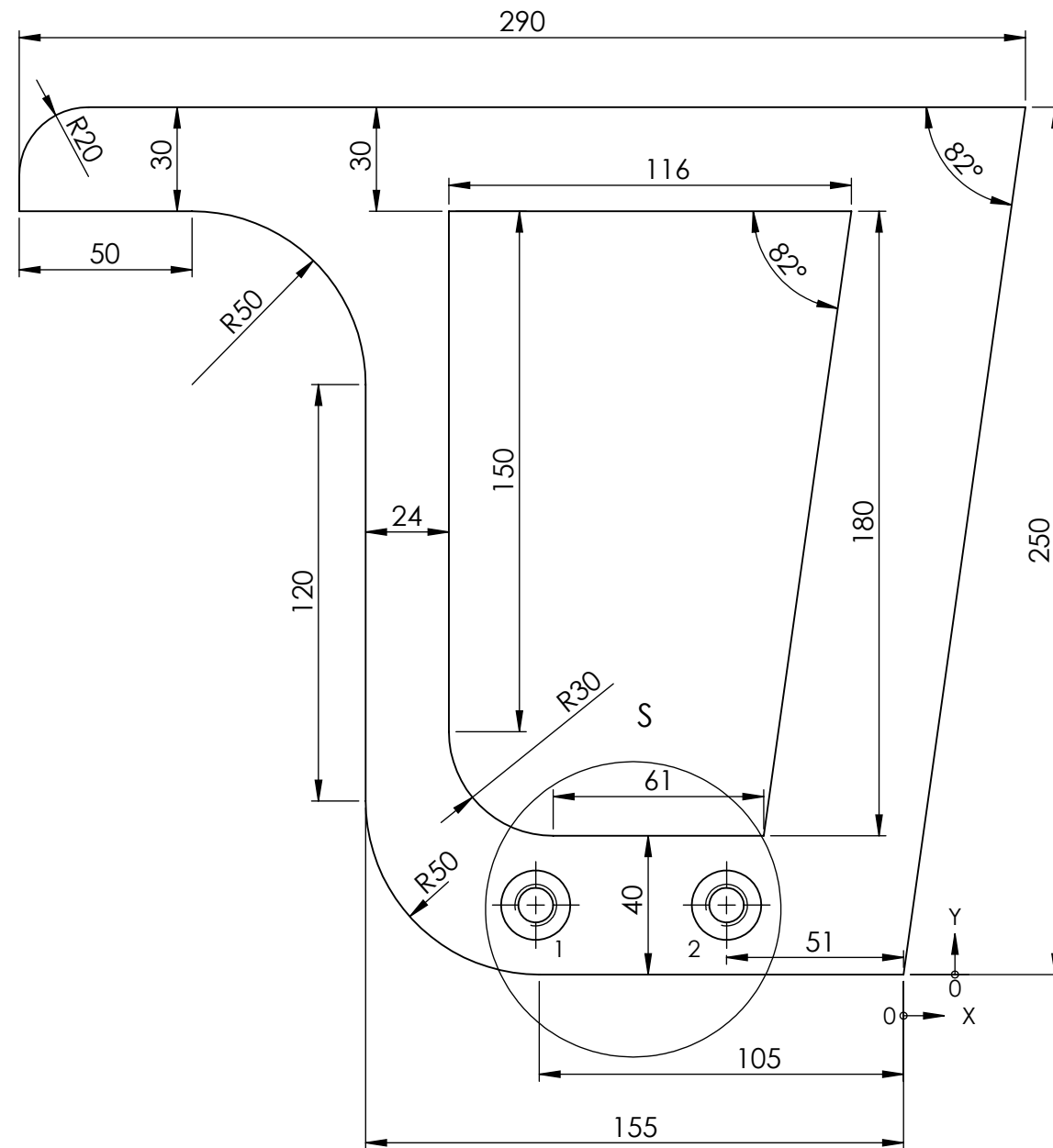
ESCALA 2 / 1

Cotas  
en (mm)

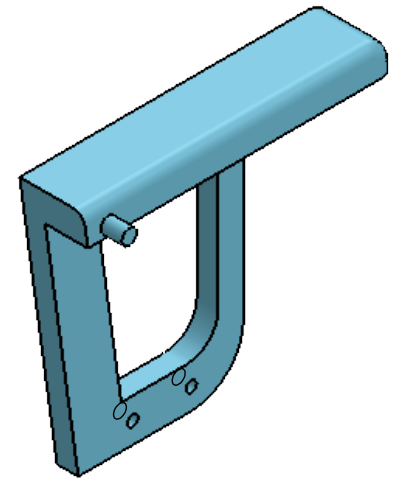
4 3 2 1



DETALLE P  
ESCALA 2 : 1



DETALLE S  
ESCALA 1 : 1



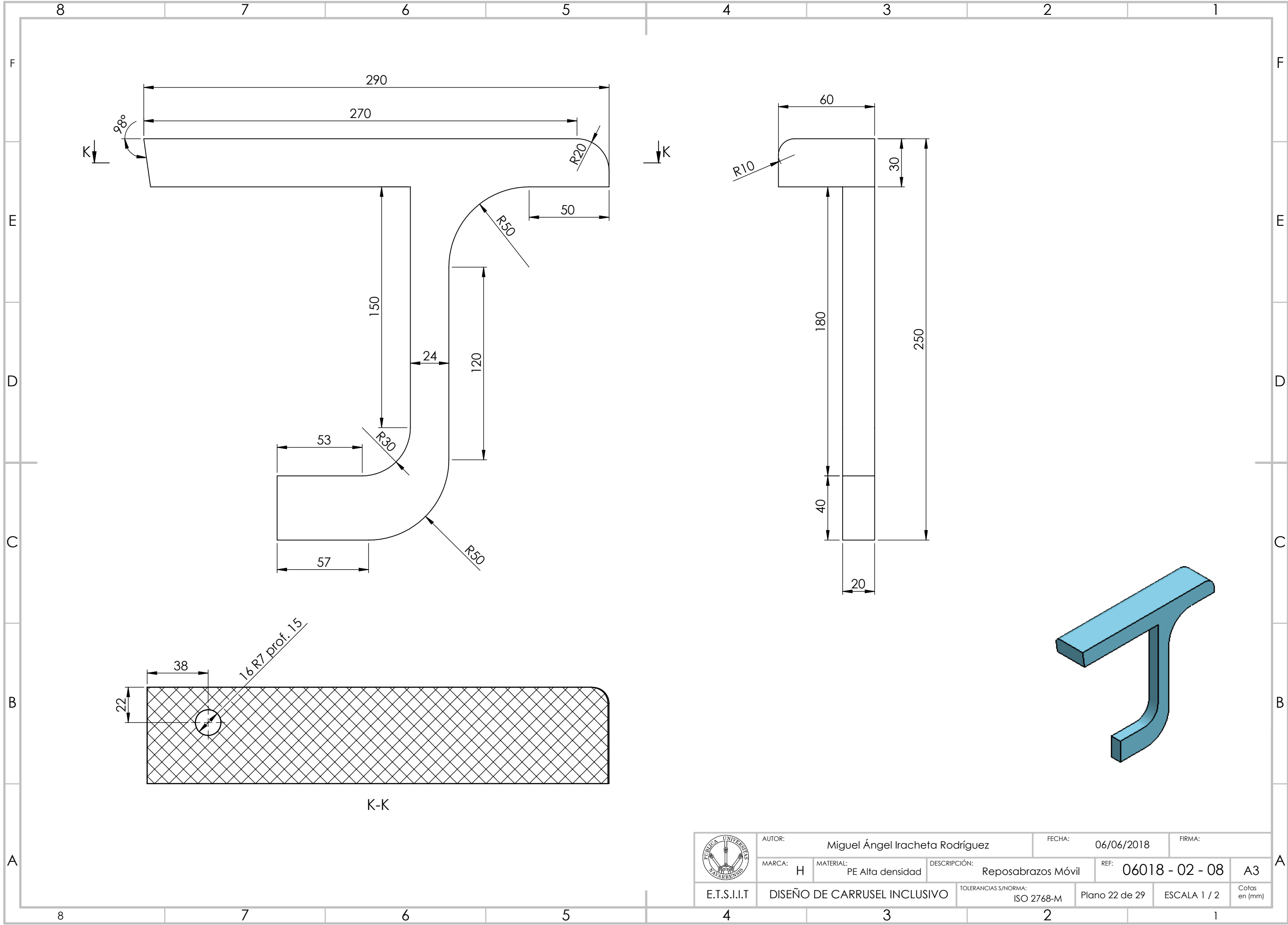
TALADRO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
1	-106	20	Ø 10 POR TODO
2	-51	20	

	AUTOR:	Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA:	06/06/2018	FIRMA:	
	MARCA:	G	MATERIAL:	PE Alta densidad	DESCRIPCIÓN:	Reposabrazos Fijo	
E.T.S.I.I.T.	DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO				TOLERANCIAS S/NORMA:	ISO 2768-M	Plano 21 de 29
							ESCALA 1 / 2
							Cotas en (mm)

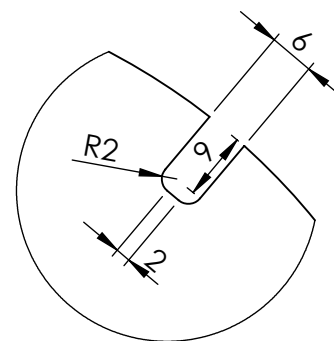
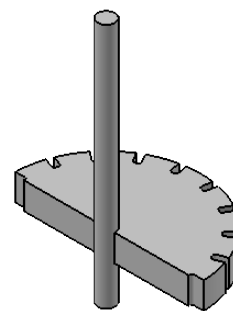
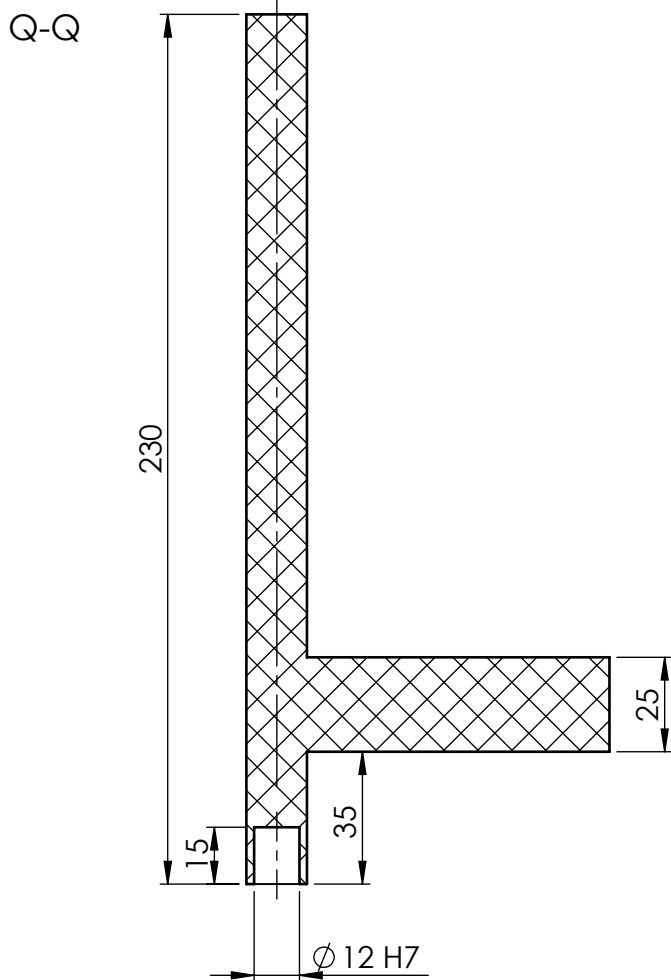
REF: 06018 - 02 - 07

A3

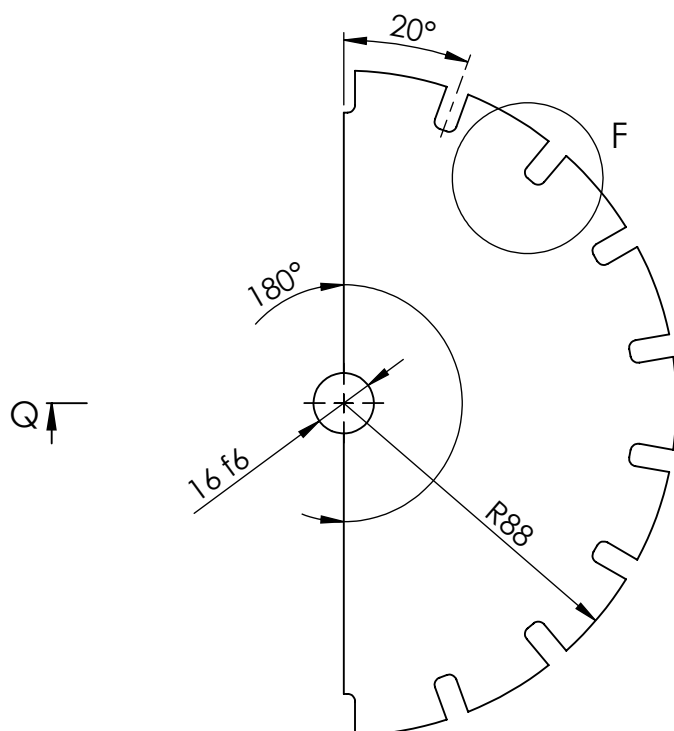




	AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA: 06/06/2018		FIRMA:	
	MARCA: H	MATERIAL: PE Alta densidad	DESCRIPCIÓN: Reposabrazos Móvil		REF: 06018 - 02 - 08	A3
	E.T.S.I.I.T.		DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO		TOLERANCIAS S/NORMA: ISO 2768-M	Plano 22 de 29
				ESCALA 1 / 2		Cotas en (mm)



DETALLE F  
ESCALA 1 : 1



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

MARCA: I

MATERIAL: ABS

DESCRIPCIÓN: Eje Piñón

REF: 06018 - 02 - 09

A4

E.T.S.I.I.T

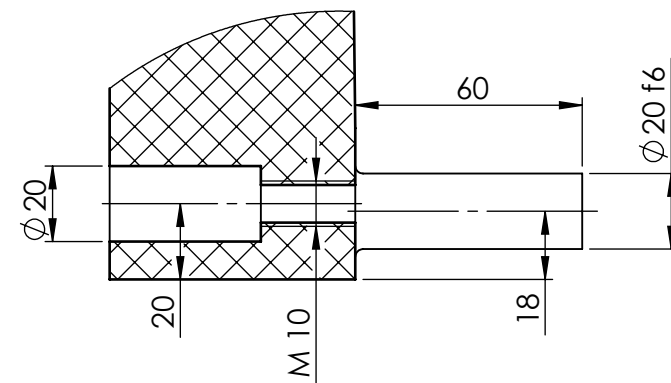
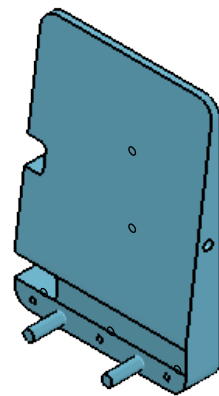
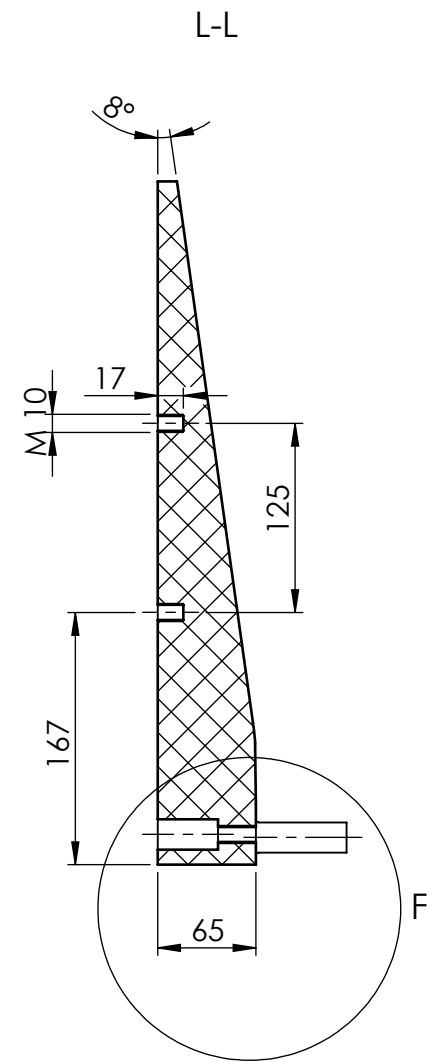
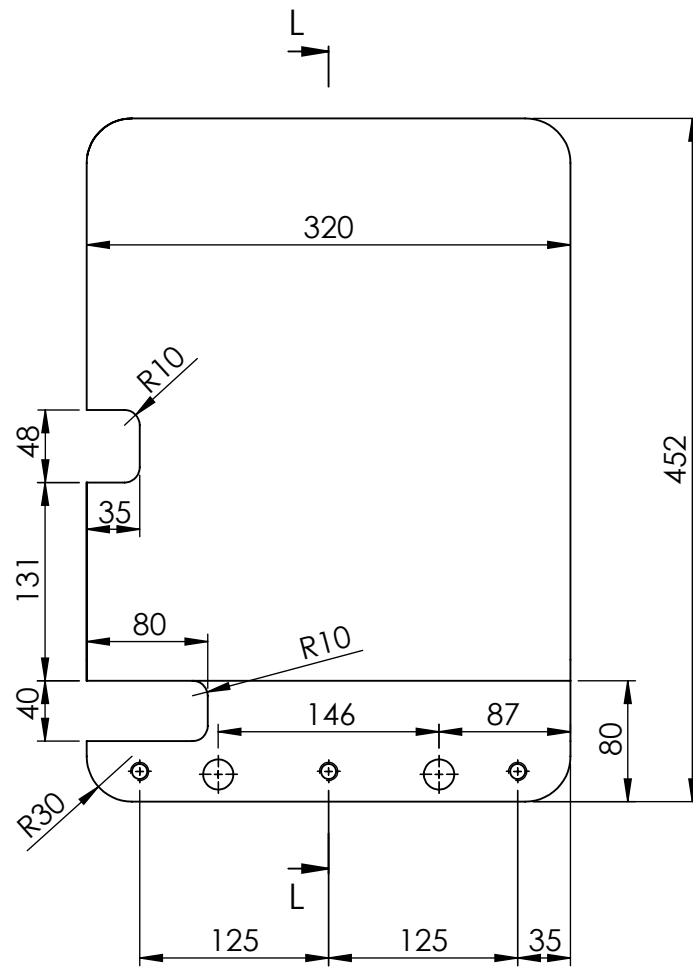
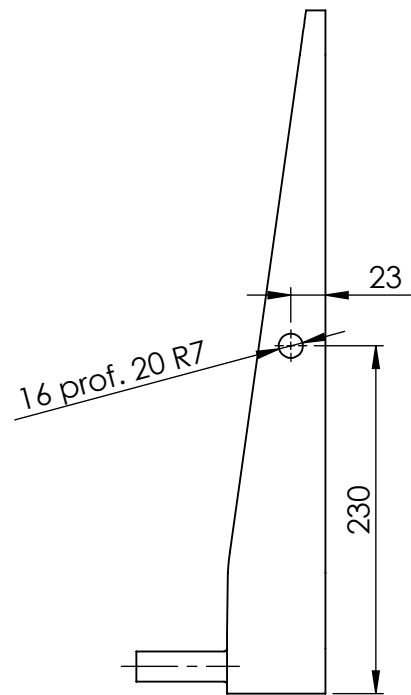
DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

Plano 23 de 29

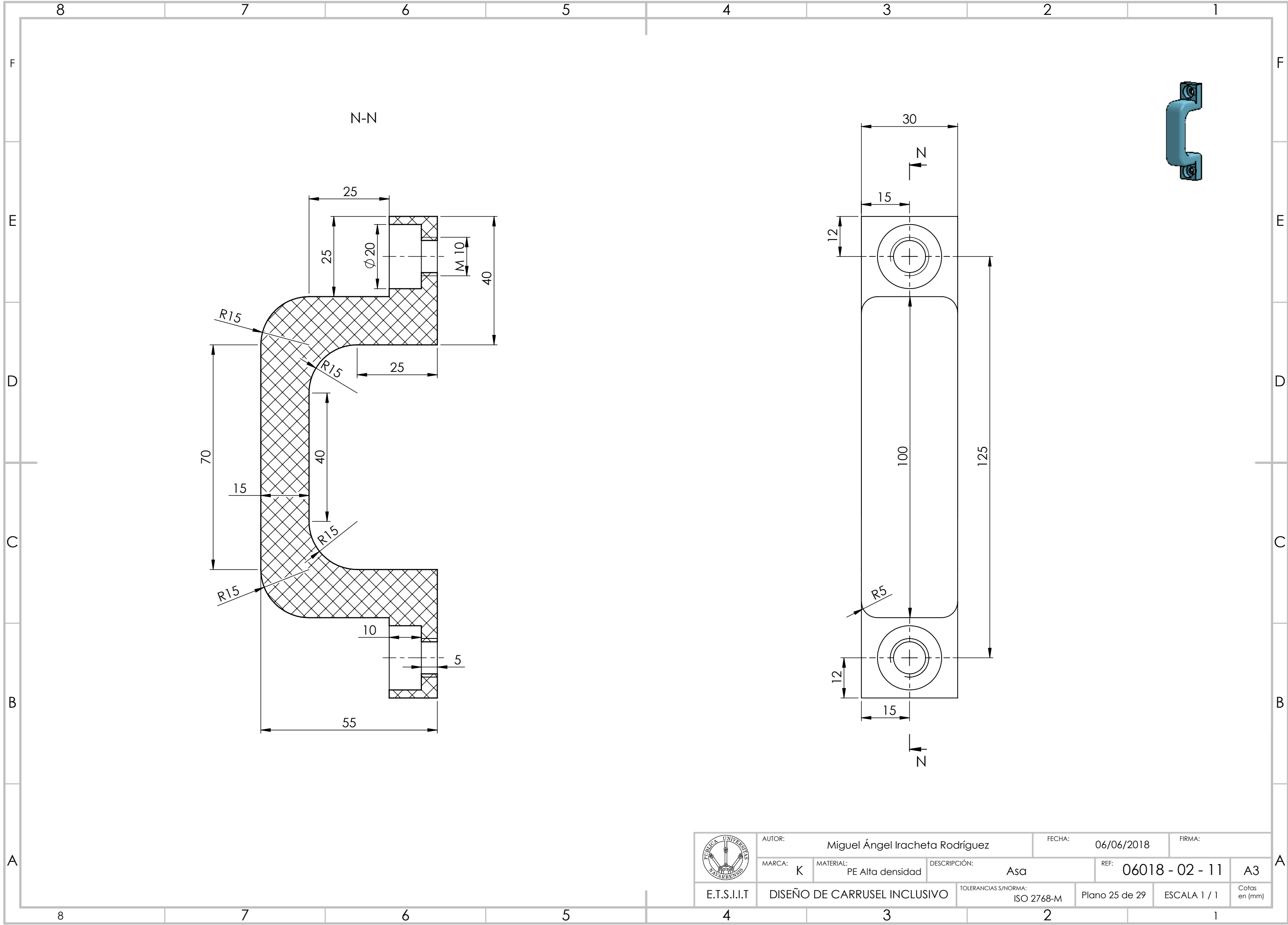
ESCALA 1 / 2

Cotas  
en (mm)

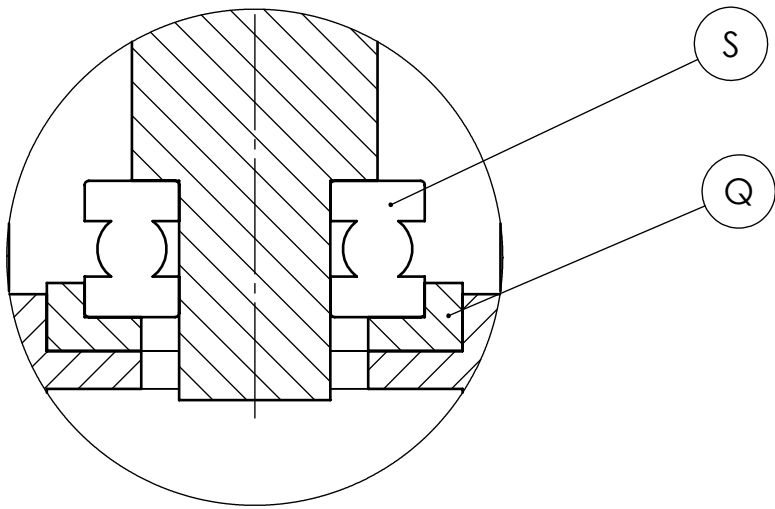
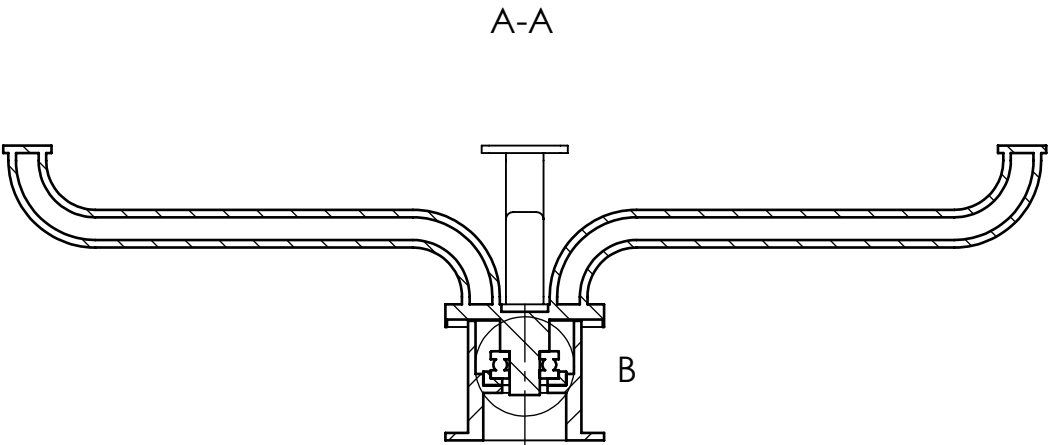
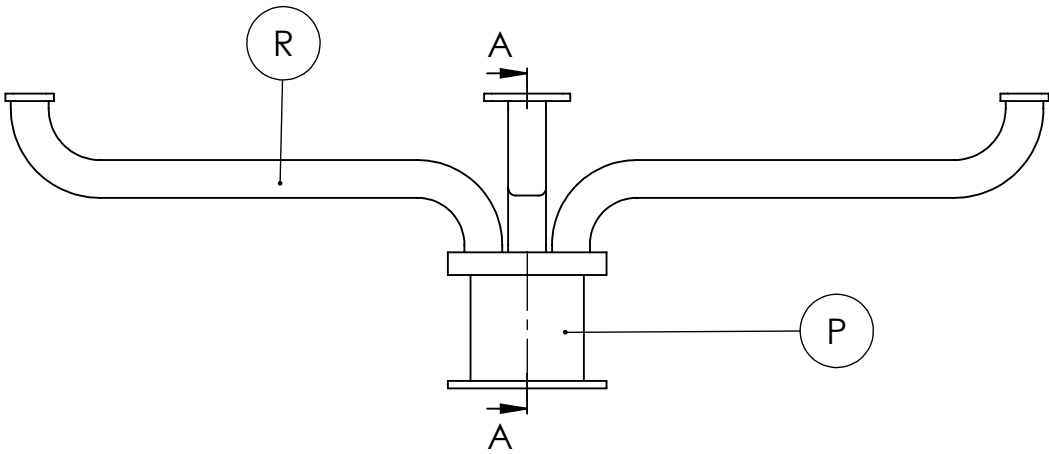


DETALLE F  
ESCALA 1 : 2

	AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA: 06/06/2018		FIRMA:	
	MARCA: J	MATERIAL: PE Alta densidad	DESCRIPCIÓN: Respaldo		REF: 06018 - 02 - 10	A3
	E.T.S.I.I.T.		DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO		TOLERANCIAS S/NORMA: ISO 2768-M	Plano 24 de 29
				ESCALA 1 / 5		Cotas en (mm)



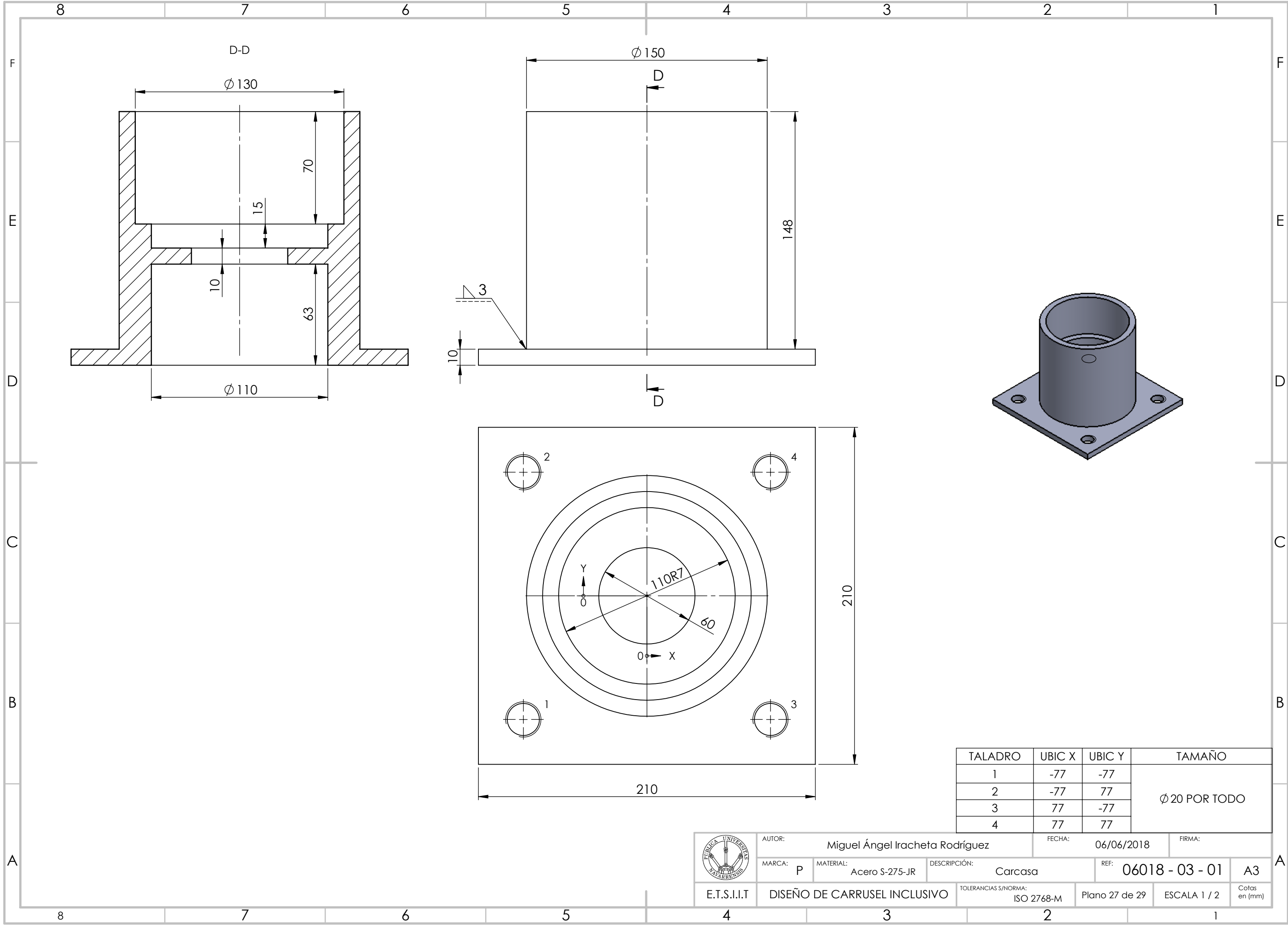
	AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA: 06/06/2018		FIRMA:	
	MARCA: K	MATERIAL: PE Alta densidad	DESCRIPCIÓN: Asa		REF: 06018 - 02 - 11	A3
	E.T.S.I.I.T.		DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO		TOLERANCIAS S/NORMA: ISO 2768-M	Plano 25 de 29
				ESCALA 1 / 1		Cotas en (mm)



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

MARCA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
P	Carcasa	Acero S-275-JR	1
Q	Soporte rodamiento	Acero AISI 304	1
R	Base giratoria	Acero S-275-JR	1
S	Rodamiento axial de bolas	ISO 104 - 144090 - B,8,SI,NC,8_68	1

	AUTOR:		Miguel Ángel Iracheta Rodríguez	FECHA:		06/06/2018		FIRMA:			
	MARCA:	14	DESCRIPCIÓN:		PLANO DE CONJUNTO SISTEMA DE GIRO		REF:	06018 - 03		A3	
E.T.S.I.I.T.	DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO			TOLERANCIAS S/NORMA:		ISO 2768-M		Plano 26 de 29		ESCALA 1 / 10	Cotas en (mm)



AUTOR:  
Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

MARCA:  
P

MATERIAL:  
Acero S-275-JR

DESCRIPCIÓN:  
Carcasa

FECHA:  
06/06/2018

FIRMA:

REF:  
06018 - 03 - 01

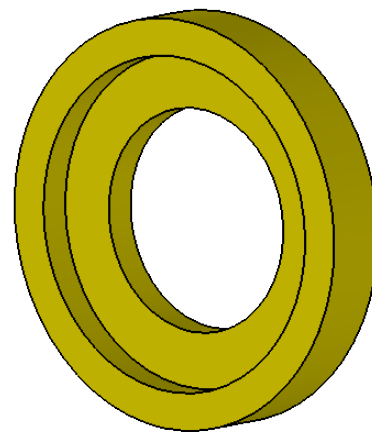
A3

TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

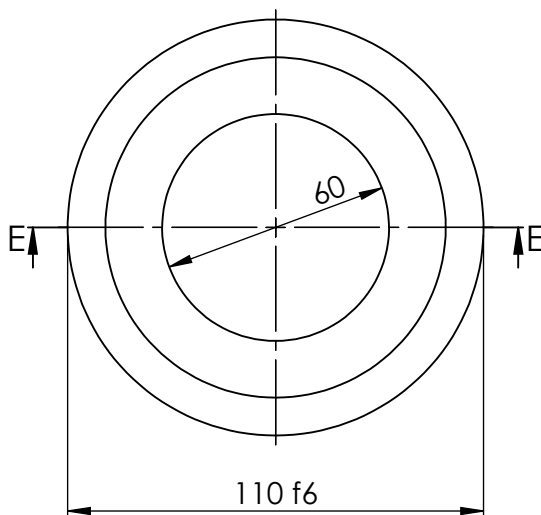
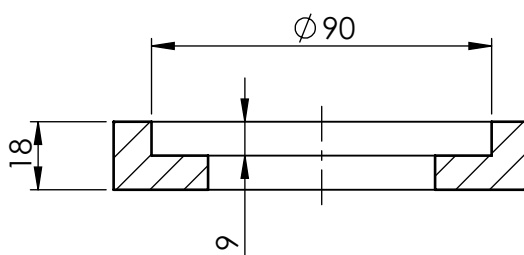
Plano 27 de 29

ESCALA 1 / 2

Cotas en (mm)



E-E



AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

FECHA: 06/06/2018

FIRMA:

MARCA: Q

MATERIAL: Acero AISI 304

DESCRIPCIÓN: Soporte Rodamiento

REF: 06018 - 03 - 02

A4

E.T.S.I.I.T

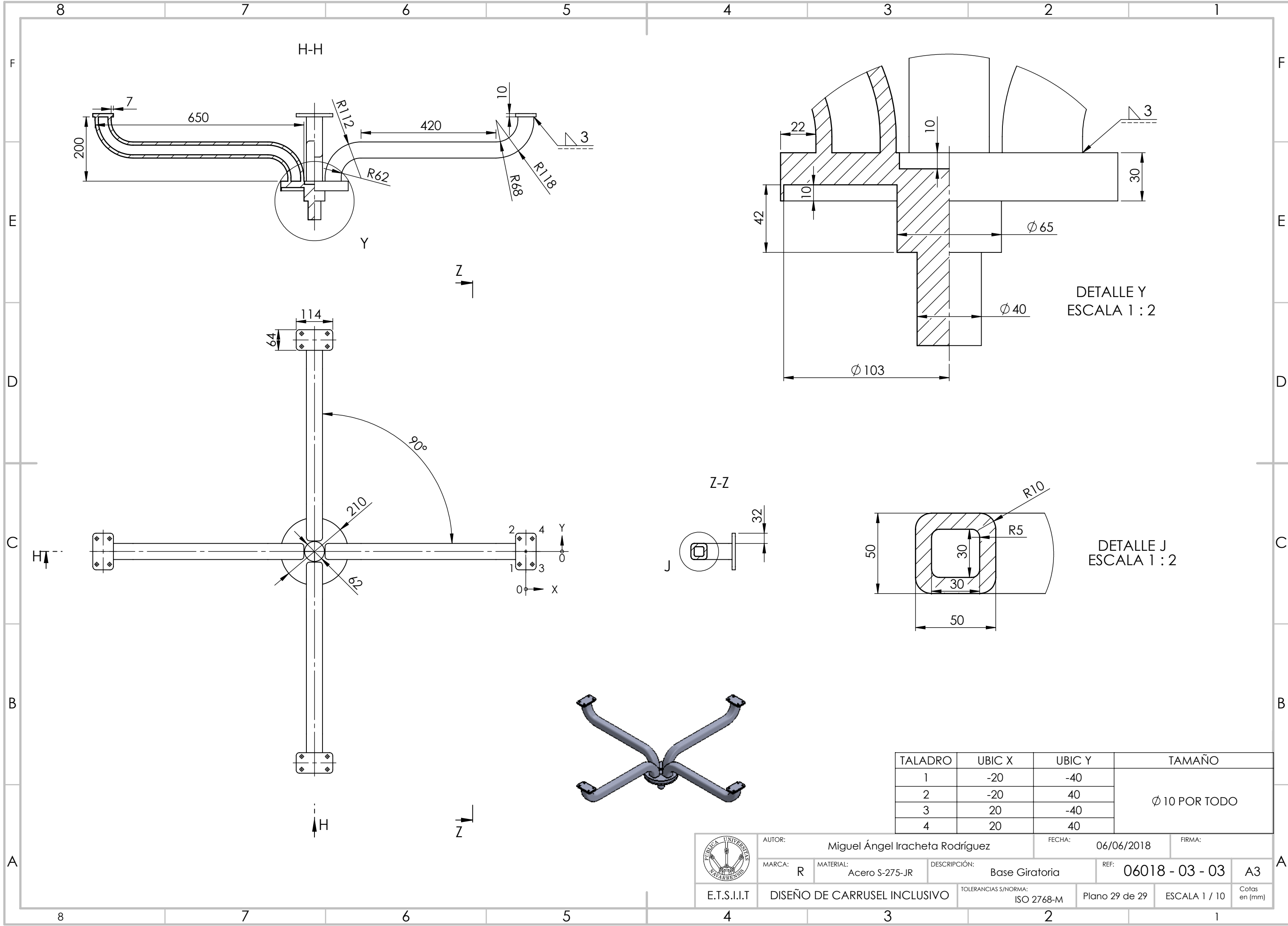
DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO

TOLERANCIAS S/NORMA:  
ISO 2768-M

Plano 28 de 29

ESCALA 1 / 2

Cotas  
en (mm)



TALADRO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
1	-20	-40	Ø 10 POR TODO
2	-20	40	
3	20	-40	
4	20	40	

	AUTOR: Miguel Ángel Iracheta Rodríguez		FECHA: 06/06/2018		FIRMA:	
	MARCA: R	MATERIAL: Acero S-275-JR	DESCRIPCIÓN: Base Giratoria		REF: 06018 - 03 - 03	A3
E.T.S.I.I.T.	DISEÑO DE CARRUSEL INCLUSIVO		TOLERANCIAS S/NORMA: ISO 2768-M		Plano 29 de 29	ESCALA 1 / 10
						Cotas en (mm)





ELEMENTOS NO COMERCIALES						
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg)	COSTE MATERIAL (€/kg)	TOTAL POR ELEMENTO
06018-00-01	Eje central	Acero S-275-JR	1	8,0	0,7	5,6
06018-00-02	Plataforma	PE alta densidad	2	4,5	1,3	11,3
06018-00-03	Volante 1	Acero S-275-JR	1	5,0	0,7	3,5
06018-00-04	Volante 2	Acero S-275-JR	1	4,5	0,7	3,2
06018-01-01	Miembro principal	Acero S-275-JR	2	120,0	0,7	168,0
06018-01-02	Barra central	Acero S-275-JR	1	10,0	0,7	7,0
06018-01-06	Cubierta	PMMA	2	100,0	1,2	232,0
06018-02-01	Asiento fijo	ABS	2	3,5	1,6	11,1
06018-02-02	Chapa 1	Acero S-275-JR	2	4,0	0,7	5,6
06018-02-03	Asiento móvil	ABS	2	3,5	1,6	11,1
06018-02-04	Chapa 2	Acero S-275-JR	2	4,0	0,7	5,6
06018-02-05	Pasador	ABS	4	0,0	1,6	0,0
06018-02-06	Tope	ABS	4	0,0	1,6	0,0
06018-02-07	Reposabrazos fijo	PE alta densidad	2	0,8	1,3	2,0
06018-02-08	Reposabrazos móvil	PE alta densidad	2	0,6	1,3	1,5
06018-02-09	Eje-piñón	ABS	2	0,4	1,6	1,3
06018-02-10	Respaldo	PE alta densidad	2	5,0	1,3	12,6
06018-02-11	Asa	PE alta densidad	2	0,1	1,3	0,2
06018-03-01	Carcasa	Acero S-275-JR	1	10,0	0,7	7,0
06018-03-02	SopORTE rodamiento	Acero AISI 304	1	0,7	3,5	2,5
06018-03-03	Base giratoria	Acero S-275-JR	1	40,0	0,7	28,0
					<b>Subtotal</b>	<b>519,2</b>
					<b>Coefficiente Procesos Fabricación</b>	<b>1,2</b>
					<b>TOTAL</b>	<b>597,0</b>

Tabla 29. Tabla de presupuesto para elementos no comerciales. Fuente: Propia.

La siguiente tabla adjunta expresa la **validación económica final** teniendo en cuenta el costo de la materia prima de elementos tanto comerciales como no comerciales y la mano de obra tanto de ingenieros, soldadores, montadores, transporte, etc. El costo de la mano de obra para cada uno de los trabajadores ha sido consultado de los apuntes de la asignatura *Oficina Técnica* del cuarto curso del Grado en Ingeniería Mecánica.

Se ha considerado que la realización del proyecto ha sido abordada en su totalidad por un graduado en Ingeniería Mecánica. Además, se necesitarán dos montadores y un soldador para el montaje total del área recreativa.

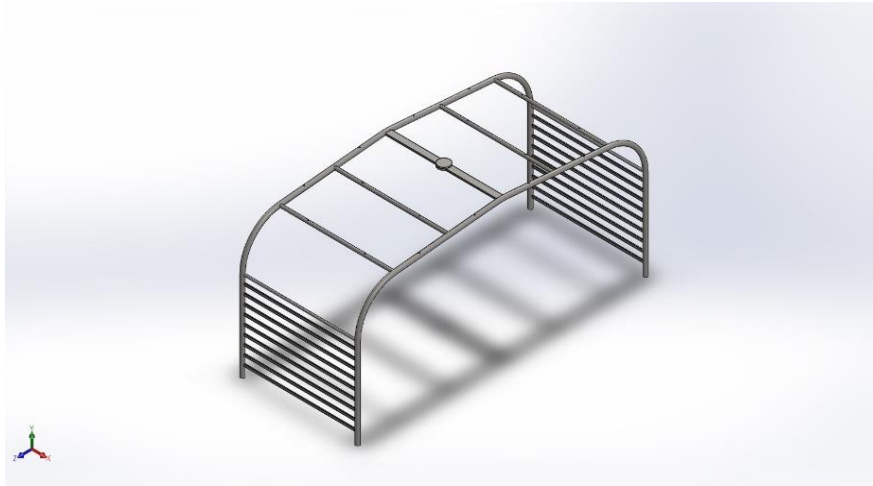
			CONCEPTO	HORAS MANO OBRA	COSTO MANO OBRA (€/h)	COSTE MANO OBRA (€)	COSTO MATERIAL (€)	OTROS COSTOS (€)	TOTAL POR TAREA
CAPÍTULO 1	REALIZACIÓN DEL PROYECTO		DISEÑO CONCEPTUAL Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	40	60	2400	0	0	2400
			DISEÑO Y CÁLCULO DE ELEMENTOS	96	60	5760	0	0	5760
			REALIZACIÓN DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	78	60	4680	0	0	4680
			Subtotal	214		12840	0	0	12840
CAPÍTULO 2	COSTE DE MATERIALES		CONCEPTO	HORAS MANO OBRA	COSTO MANO OBRA (€/h)	COSTE MANO OBRA (€)	COSTO MATERIAL (€)	COSTE MECANIZADO (€)	TOTAL POR ELEMENTO
			ELEMENTOS COMERCIALES	0	0	0	223,7	20	243,7
			FABRICACIÓN DE ELEMENTOS NO COMERCIALES	40	30	1200	597,0	77,9	1874,9
			Subtotal	40		1200	820,7	97,9	2118,6
CAPÍTULO 3	MONTAJE Y PRUEBAS		CONCEPTO	HORAS MANO OBRA	COSTO MANO OBRA (€/h)	COSTE MANO OBRA (€)	COSTO MATERIAL (€)	OTROS COSTOS (€)	TOTAL POR TAREA
			TRANSPORTE	0	0	0	0	250	250
			MONTAJE Y PRUEBAS	10	75	750	0	0	750
			SOLDADURA	2	40	80	0	0	80
			Subtotal	12		830	0	250	1080
			Subtotales (€)	266		14870	820,7	347,9	16038,6
			IVA (21%)						3368,1
			Total programado (€)						19406,7

Tabla 30. Validación económica final. Fuente: Propia.

Como se observa en la tabla para la validación económica final el presupuesto total del proyecto realizado asciende a **19407 euros**. Sin embargo cabe destacar que el grueso del coste del proyecto es debido a la mano de obra pagada al proyectista. El número de horas invertidas ha sido de 214, a un coste de 60 €/hora han resultado un total de 12840 €.

## 12. INFORMES DE ENSAYOS

### 12.1. Análisis Conjunto Estructura



**Diseñador:** Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

**Nombre de estudio:** Análisis Conjunto Estructura

**Tipo de análisis:** Análisis estático

**Referencia componente:** 06018 - 01

### Descripción

En el presente informe se pretende comprobar la resistencia de la estructura. Para ello se introducirá la carga correspondiente al peso de los usuarios.

Tras analizar los resultados se valorará si el diseño es seguro estructuralmente.

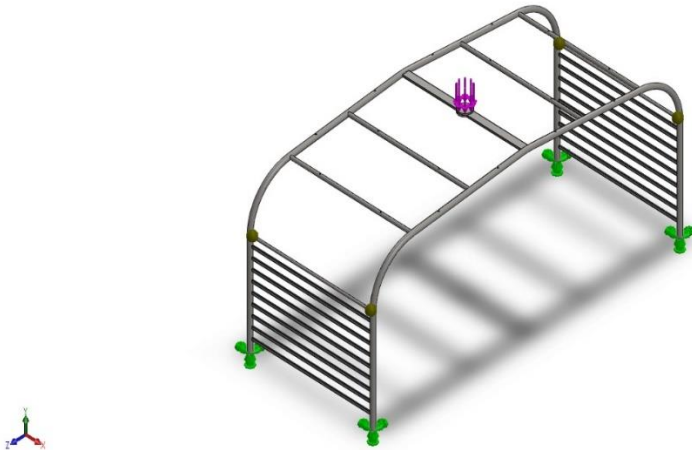
## Suposiciones

La carga introducida para el análisis será la correspondiente a cuatro usuarios de 100 kg cada uno por un coeficiente de mayoración de cargas debido a uso indebido de 1.25.

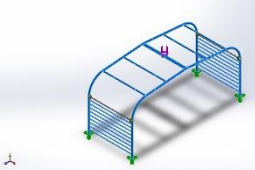
La carga actuará en la superficie donde se une el eje central con la estructura.

Las sujeciones se realizarán en los extremos de los miembros principales de la estructura los cuales irán cimentados al terreno.

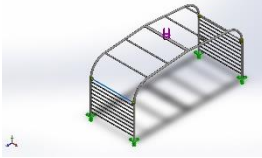
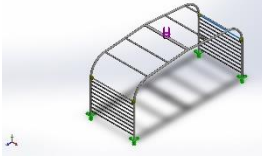
## Información del modelo



Nombre del modelo: estructura  
Configuración actual: Predeterminado<Como mecanizada>

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir7 	<b>Sólido</b>	Masa:469.685 kg Volumen:0.060216 m <sup>3</sup> Densidad:7800 kg/m <sup>3</sup> Peso:4602.91 N	C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\Estructura\estructura.SLDPR <b>May 26 13:54:52 2018</b>

Sólidos de viga:

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades	Ruta al documento/Fecha de modificación
Viga-4(Tubería 33.7 X 4.0(2)) 	<b>Viga – Sección transversal uniforme</b>	Estándar de sección-iso/pipe/33.7 x 4.0 Área de sección: 0.000201062m <sup>2</sup> Longitud:1930mm Volumen:0.00038805 m <sup>3</sup> Densidad:7800kg/m <sup>3</sup> Masa:3.02679kg Peso:29.6625N	C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\Estructura\estructura.SLDPR <b>May 26 13:54:52 2018</b>
Viga-5(Simetría2) 	<b>Viga – Sección transversal uniforme</b>	Estándar de sección-Área de sección: 0.000201062m <sup>2</sup> Longitud:1930mm Volumen:0.00038805 m <sup>3</sup> Densidad:7800kg/m <sup>3</sup> Masa:3.02679kg Peso:29.6625N	C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\Estructura\estructura.SLDPR <b>May 26 13:54:52 2018</b>

## Propiedades de estudio

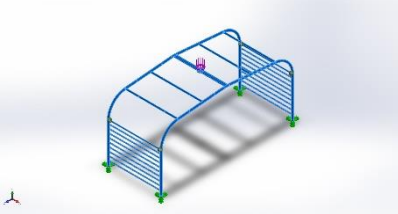
<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 1
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla mixta
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	Direct sparse solver
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar

<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\Estructura)

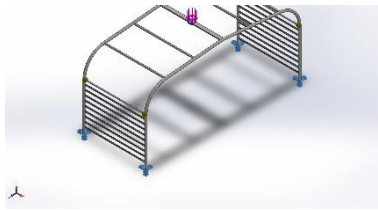
## Unidades

<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

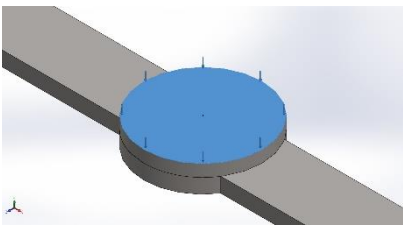
## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>1.0044 (S275JR)</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Límite elástico: <b>2.75e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>4.1e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coeficiente de Poisson: <b>0.28</b></p> <p>Densidad: <b>7800 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coeficiente de dilatación térmica: <b>1.1e-005 /Kelvin</b></p>	<p><b>Sólido 1(Saliente-Extruir7)(estructura), Sólido 2(Simetría2)(estructura), Sólido 3(Tubería 33.7 X 4.0(2))(estructura)</b></p>

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 4 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija

Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.000106812	5000	-0.00169373	5000
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	1e-033

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 5000 N

## Información de malla

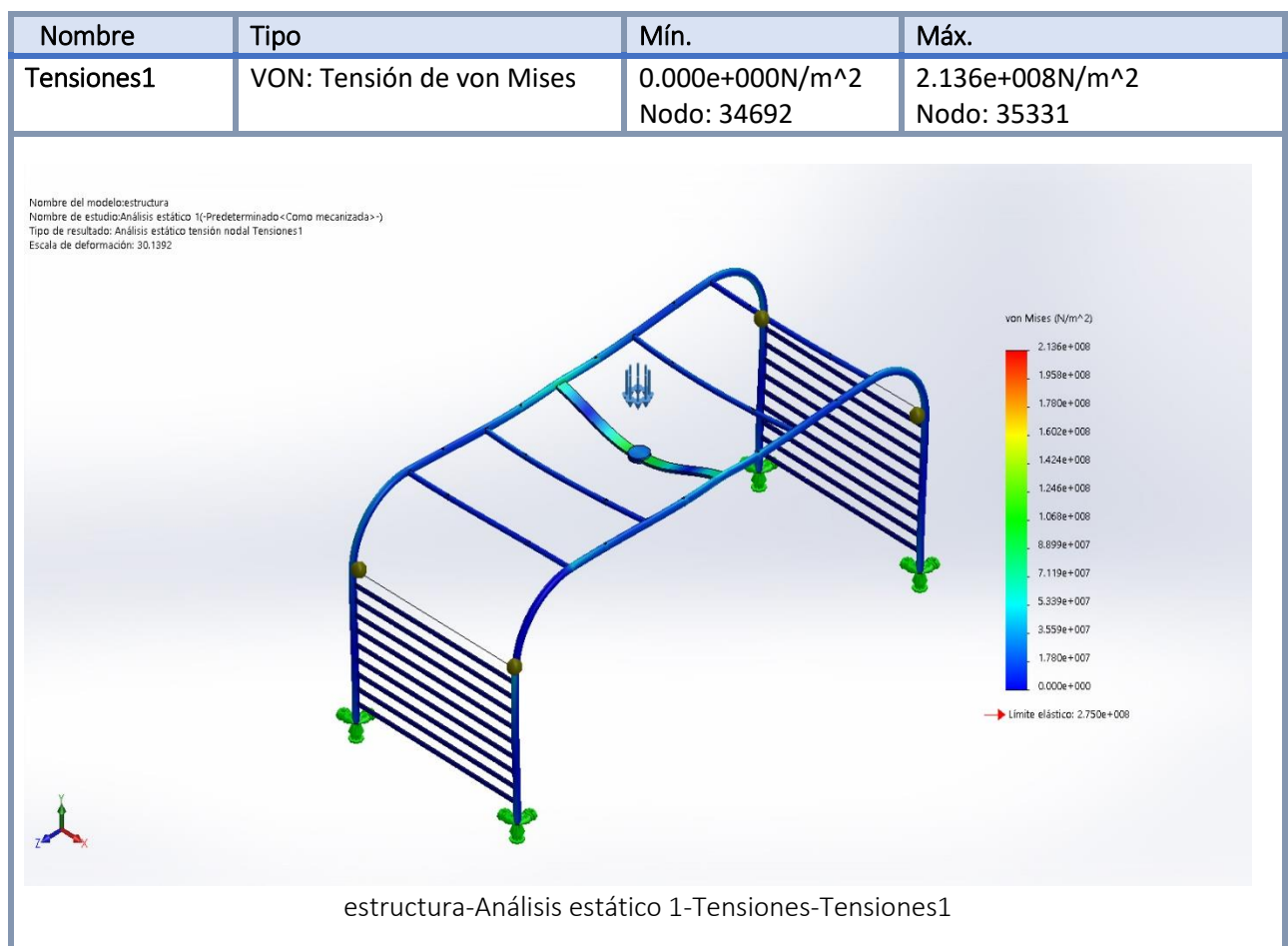
<b>Tipo de malla</b>	Malla mixta
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla basada en curvatura de combinado
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Verificación jacobiana para el vaciado</b>	Activar
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	95.6323 mm
<b>Tamaño mínimo del elemento</b>	19.1265 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

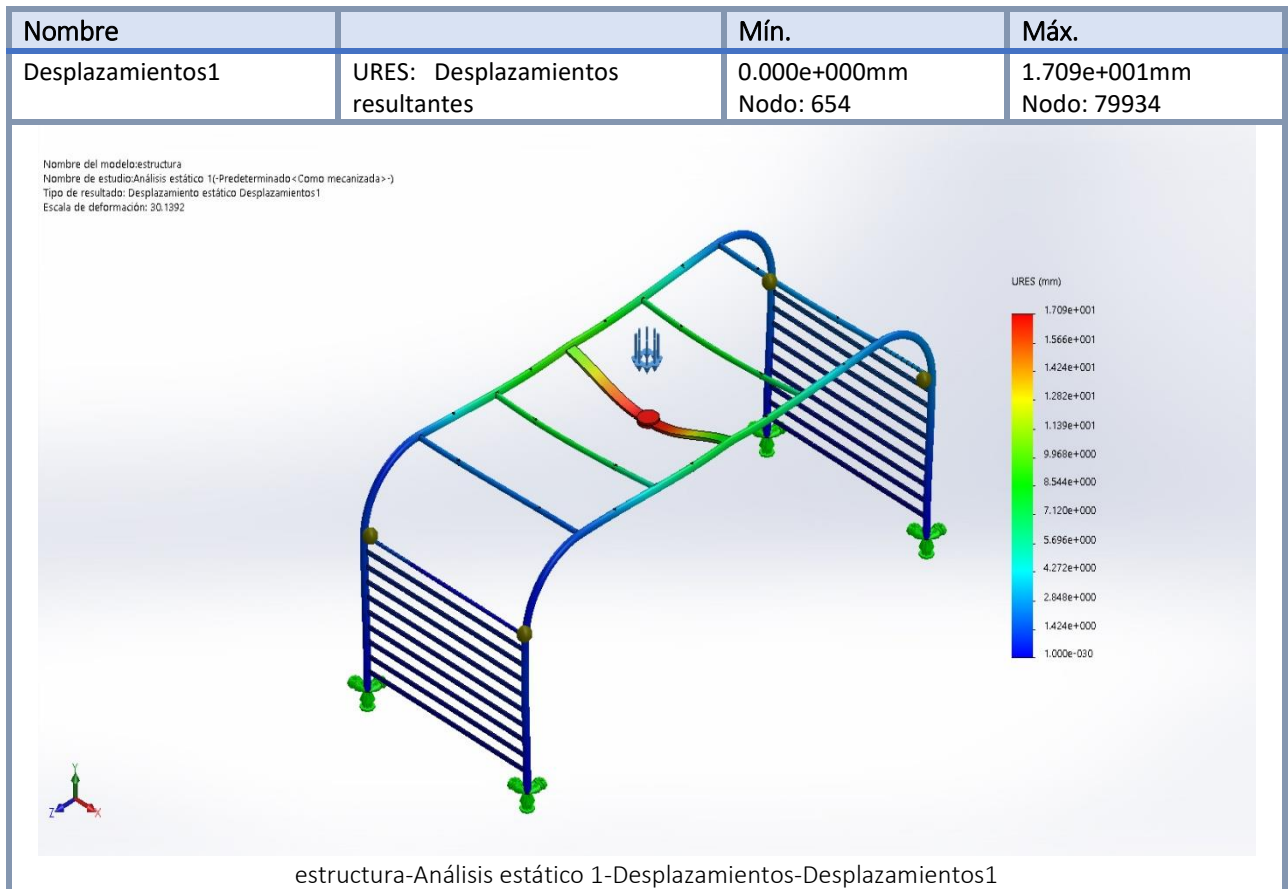


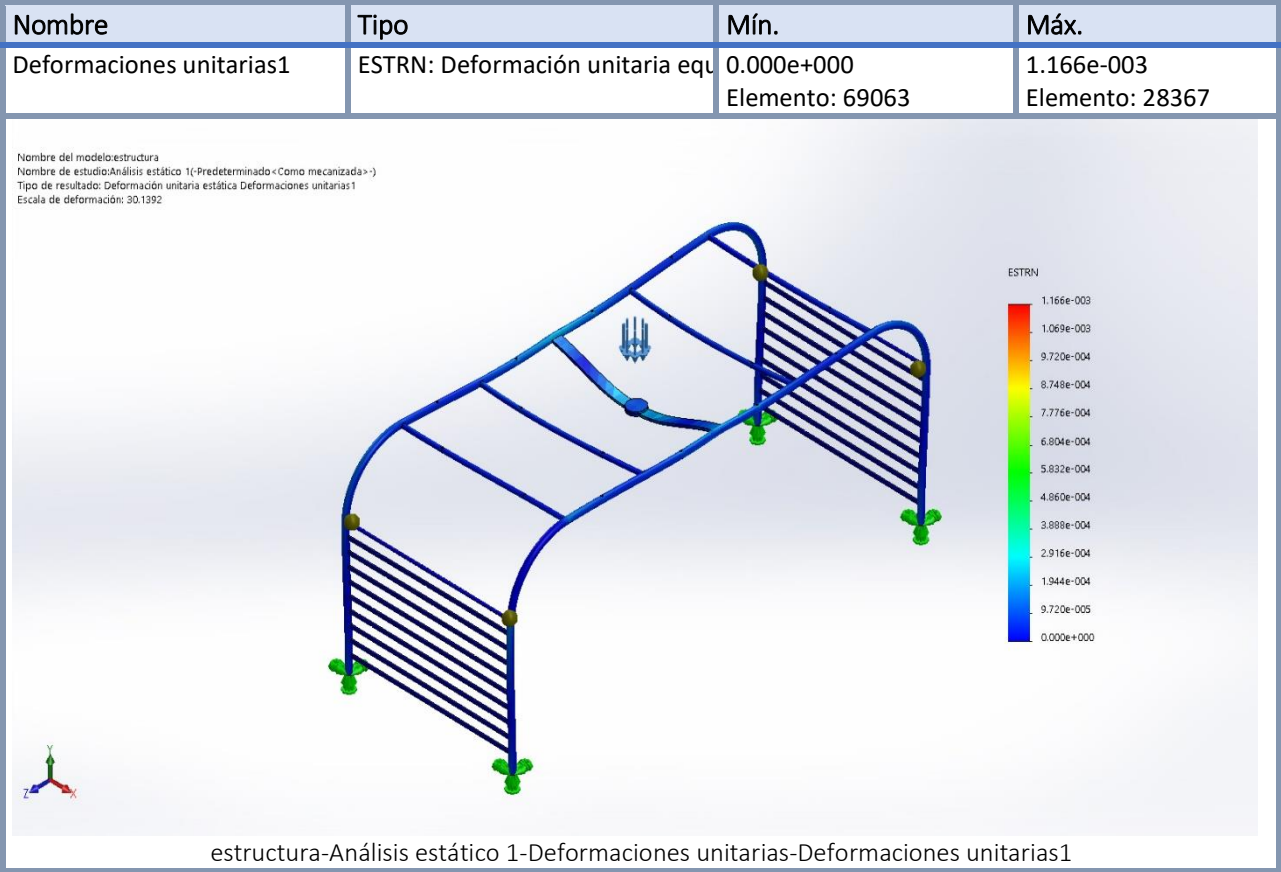
## Información de malla – Detalles

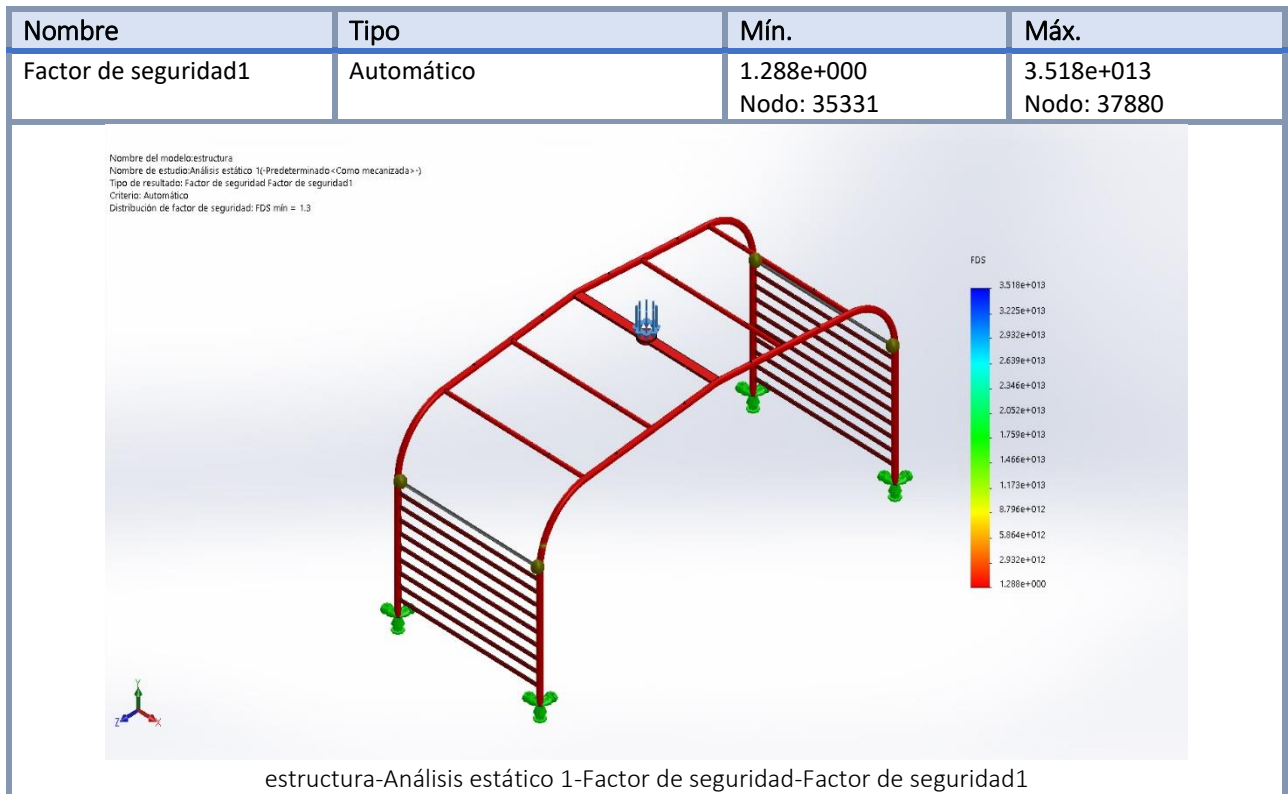
Número total de nodos	139637
Número total de elementos	69120
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:39
Nombre de computadora:	

## Resultados del estudio









## Conclusión

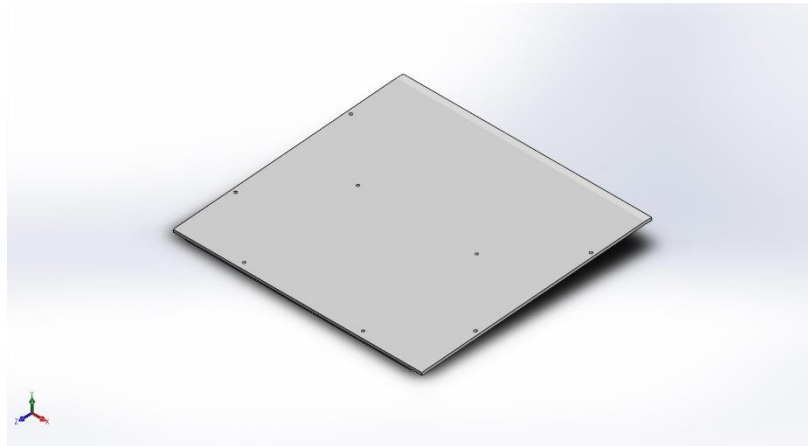
La tensión máxima resultante ha sido **213,6 MPa**, valor inferior al límite elástico del material (275 MPa). Esto significa que no se sobrepasará el límite elástico, el material no se deformará plásticamente y obviamente no llegará a rotura.

El máximo desplazamiento obtenido ha sido de **17 mm**, este **desplazamiento** es suficiente para hacer **peligrar la integridad estructural** del componente, suponiendo un riesgo crítico para el usuario.

El mínimo factor de seguridad obtenido es de **1,3** y a pesar de que sea un factor válido, no será suficiente para un componente que debe ser seguro ante todo pronóstico.

Se concluye que el diseño del **componente no es válido ante la carga estudiada**. En la memoria se explica la solución adoptada para poder validar el diseño.

## 12.2. Análisis Cubierta Carga de Nieve



**Diseñador:** Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

**Nombre de estudio:** Análisis Cubierta para carga de nieve

**Tipo de análisis:** Análisis estático

**Referencia Componente:** 06018-01-06

### Descripción

En el presente informe se pretende comprobar la resistencia de la cubierta ante una carga de nieve.

Se concluirá el informe decidiendo si el componente es válido o no.

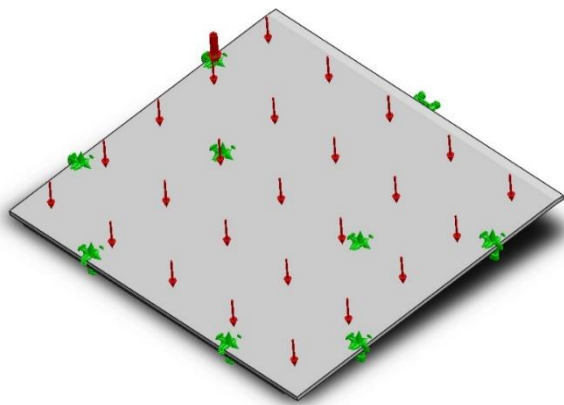
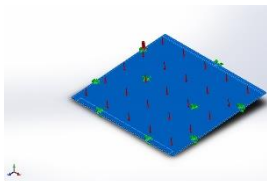
## Suposiciones

La carga introducida para el ensayo es de  $700 \text{ N/m}^2$ . Este valor de presión ha sido obtenido del *Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación (DBSE – AE)* para la localidad de Pamplona/Iruña.

La carga actuará en toda la superficie superior de la cubierta.

Las sujeciones se realizarán en los agujeros destinados a las uniones atornilladas entre la cubierta y la estructura.

## Información de modelo

			
<p>Nombre del modelo: Cubierta Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Redondeo1</p> 	Sólido	<p>Masa:106.126 kg Volumen:0.0891816 m<sup>3</sup> Densidad:1190 kg/m<sup>3</sup> Peso:1040.04 N</p>	<p>C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\Estructura\Cubierta.sldprt May 26 13:54:51 2018</p>

## Propiedades de estudio

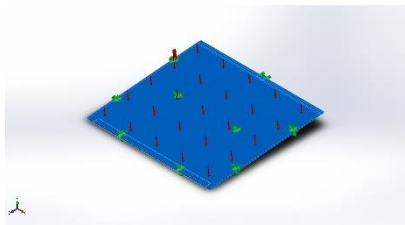
<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 1
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar

<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\Estructura)

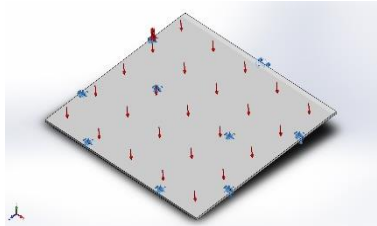
## Unidades

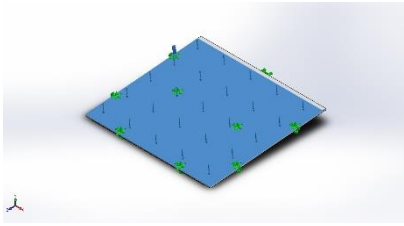
<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>PMMA</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b> Límite de tracción: <b>6.1e+007 N/m<sup>2</sup></b> Límite de compresión: <b>1.05e+008 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>2.77e+009 N/m<sup>2</sup></b> Densidad: <b>1190 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Sólido</b> <b>1(Redondeo1)(Cubierta)</b>

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 9 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.00422096	2689.15	235.162	2699.41
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Presión-1		Entidades: <b>1 cara(s)</b> Tipo: <b>Normal a cara seleccionada</b> Valor: <b>700</b> Unidades: <b>N/m<sup>2</sup></b> Ángulo de fase: <b>0</b> Unidades: <b>deg</b>



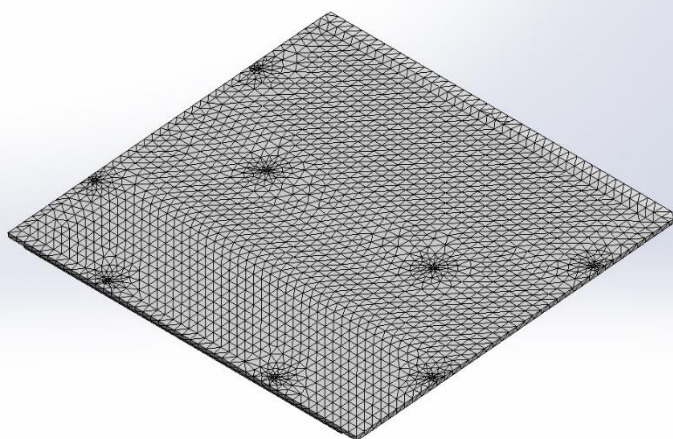
## Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	47.8915 mm
<b>Tolerancia</b>	2.39457 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

## Información de malla – Detalles

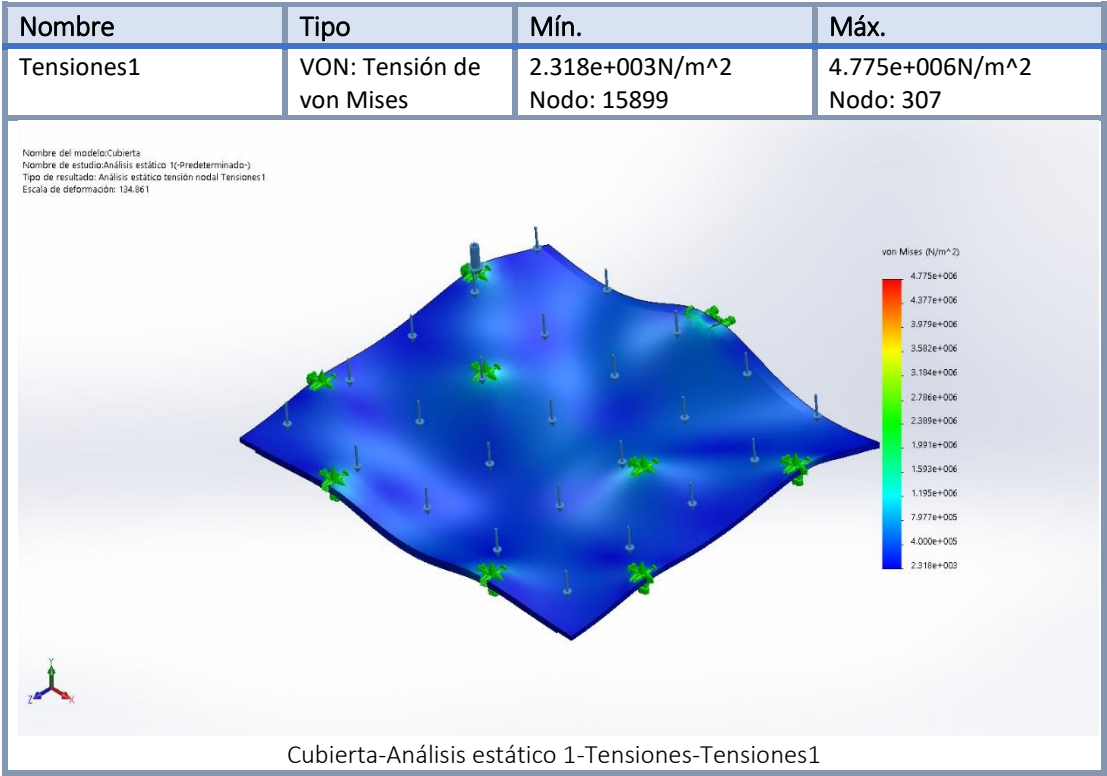
<b>Número total de nodos</b>	25537
<b>Número total de elementos</b>	12660
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	7.5314
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	89.3
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:03
<b>Nombre de computadora:</b>	

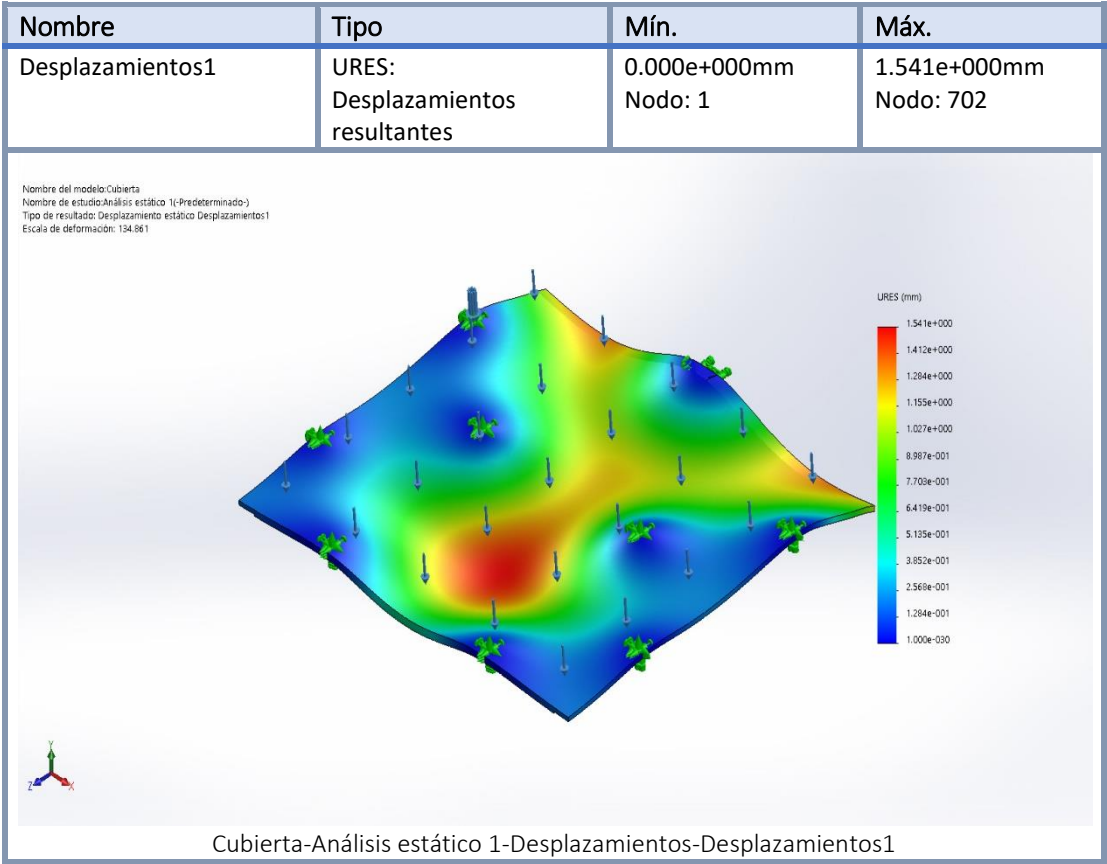
Nombre del modelo: Cubierta  
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (Predeterminado)  
Tipo de malla: Malla sólida

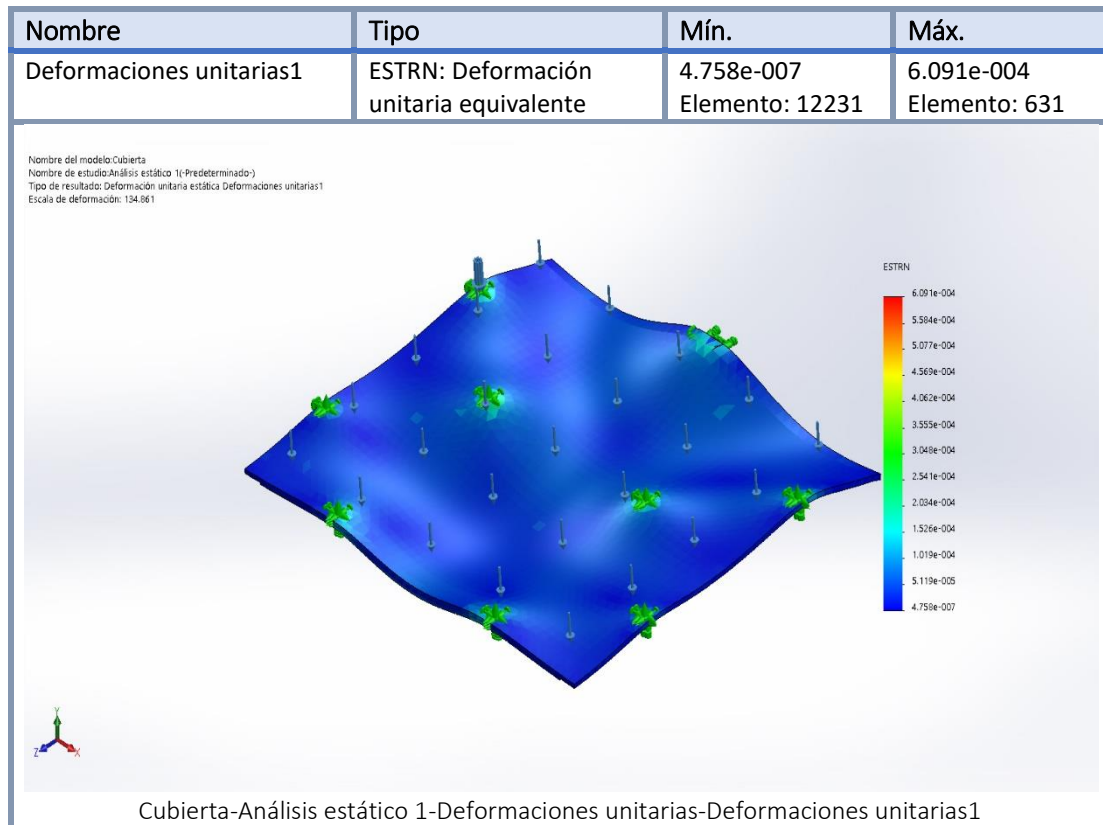




Resultados del estudio







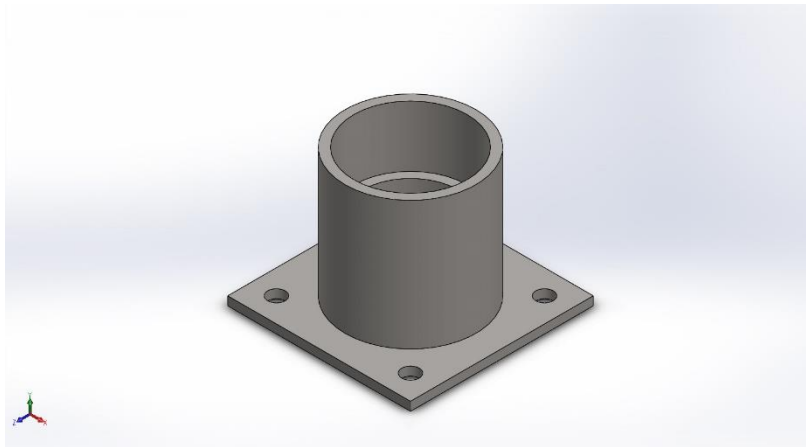
## Conclusión

El valor de la mayor tensión obtenida es de **4,77 MPa**, este valor es muy inferior a la tensión de fluencia del material (**70 MPa**), a partir de la cual el material podría deformarse de manera plástica. Por lo tanto, se puede afirmar que este componente **no sufrirá riesgo de rotura ni de deformaciones permanentes**.

En cuanto a los desplazamientos, el mayor valor obtenido es de **1,5 mm**, lo que no supondrá un riesgo para la integridad del componente.

Se puede concluir que el **diseño para la cubierta es válido**.

### 12.3. Análisis Carcasa Sistema de Giro



**Diseñador:** Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

**Nombre de estudio:** Análisis Carcasa

**Tipo de análisis:** Análisis estático

**Referencia componente:** 06018-03-01

### Descripción

En el presente informe se pretende comprobar la resistencia del componente “Carcasa”.

Se analizará la carga originada por el peso de los cuatro usuarios, así como el peso de los componentes que se encuentren por encima y transmitan su peso a esta pieza.

Una vez analizados los resultados se concluirá si es el diseño componente es válido.

## Suposiciones

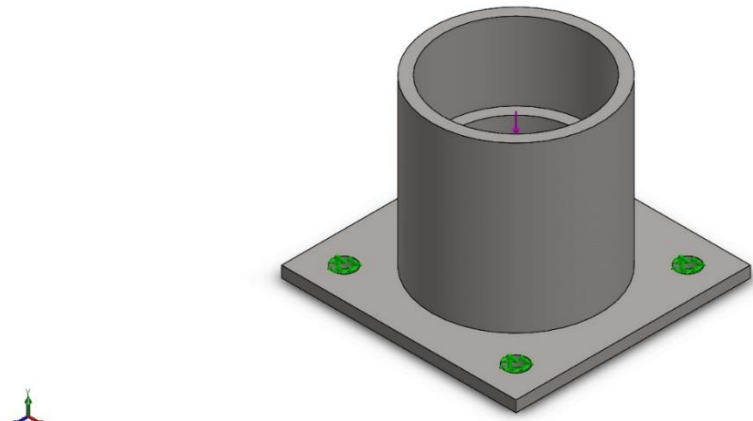
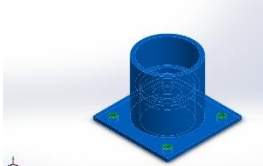
La carga introducida para el ensayo es de 6250 N. Se ha calculado como el peso de cuatro usuarios de 100 kg, por dos coeficientes de mayoración de 1.25, debido a uso indebido y peso de otros elementos.

La carga actuará en la cara sobre la que se apoya el soporte para el rodamiento, ya que será sobre esta superficie donde se transmitan las cargas.

Las sujeciones se realizarán en los agujeros destinados para las uniones atornilladas a la soleta de cemento del suelo.

La unión entre la placa rectangular y la pieza cilíndrica se supone soldada.

## Información de modelo

 <p>Nombre del modelo: Carcasaprov Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir12 	Sólido	Masa:10.4922 kg Volumen:0.00134515 m <sup>3</sup> Densidad:7800 kg/m <sup>3</sup> Peso:102.823 N	C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\sistemagiro\Carcasaprov.sldprt May 26 17:04:11 2018

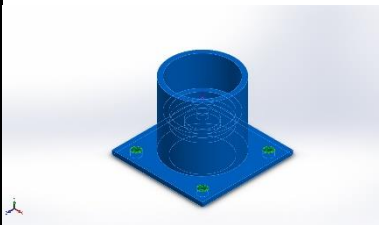
## Propiedades de estudio

<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 1
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\sistemagiros)

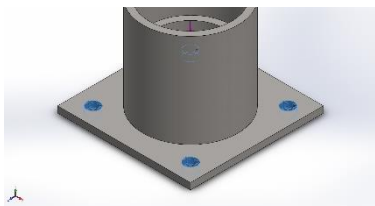
## Unidades

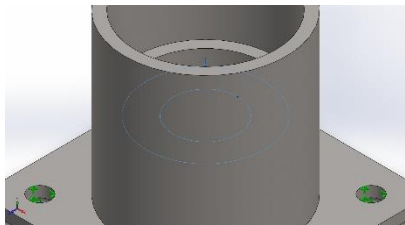
<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>1.0044 (S275JR)</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Límite elástico: <b>2.75e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>4.1e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.28</b></p> <p>Densidad: <b>7800 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: <b>1.1e-005 /Kelvin</b></p>	<b>Sólido 1(Cortar-Extruir12)(Carcasapro v)</b>

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades:		4 cara(s)	
		Tipo:		Geometría fija	
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	0.103519	6250.06	-0.00191498	6250.06	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades:		1 cara(s)	
		Tipo:		Aplicar fuerza normal	
		Valor:		6250 N	



## Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	9.79913 mm
<b>Tolerancia</b>	0.489957 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

## Información de malla – Detalles

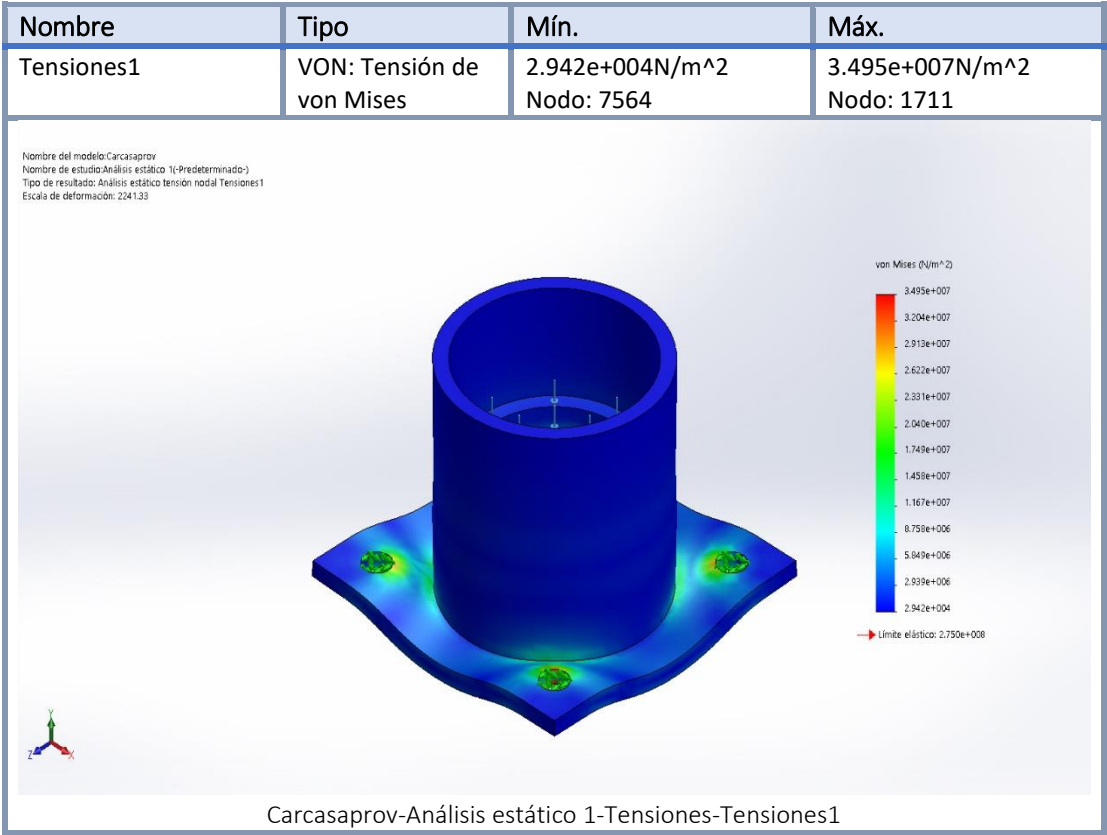
<b>Número total de nodos</b>	19754
<b>Número total de elementos</b>	11126
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	4.6633
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	99.8
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:01
<b>Nombre de computadora:</b>	

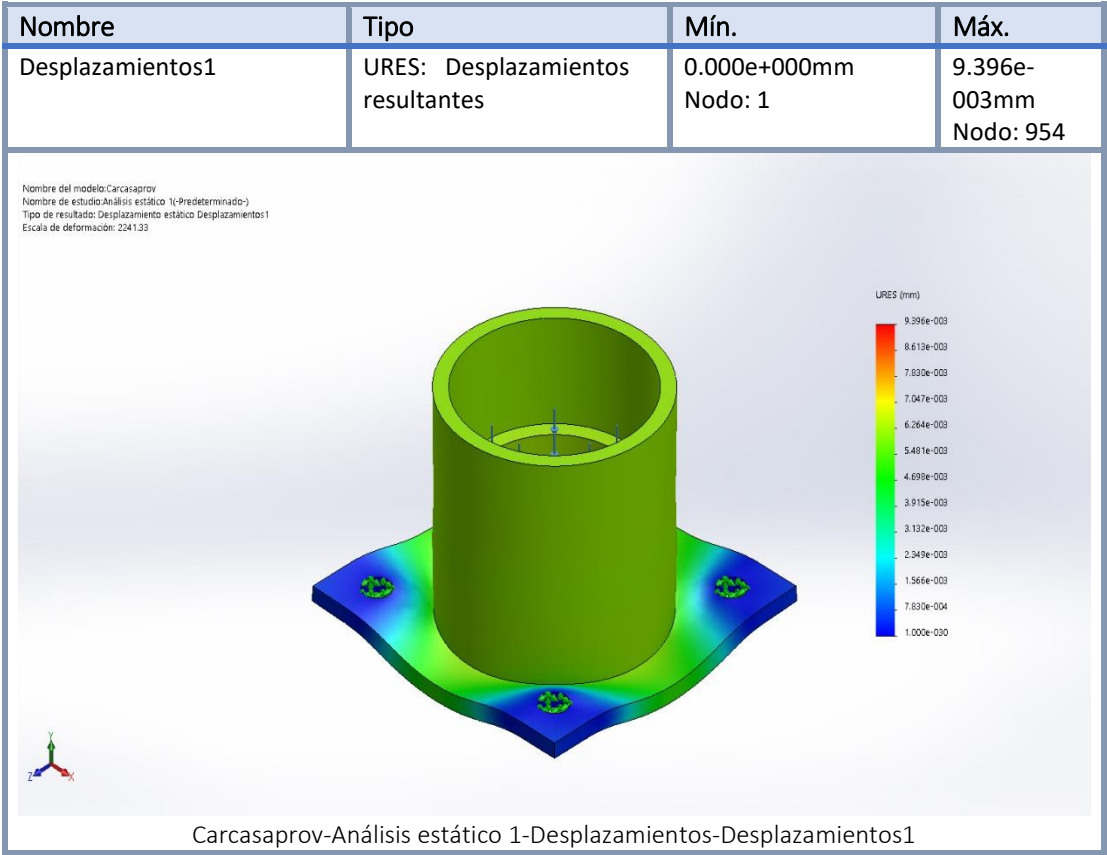
Nombre del modelo: Carcasaprov  
 Nombre de estudio: Analisis estatico 1(-Predeterminado-)  
 Tipo de malla: Malla sólida

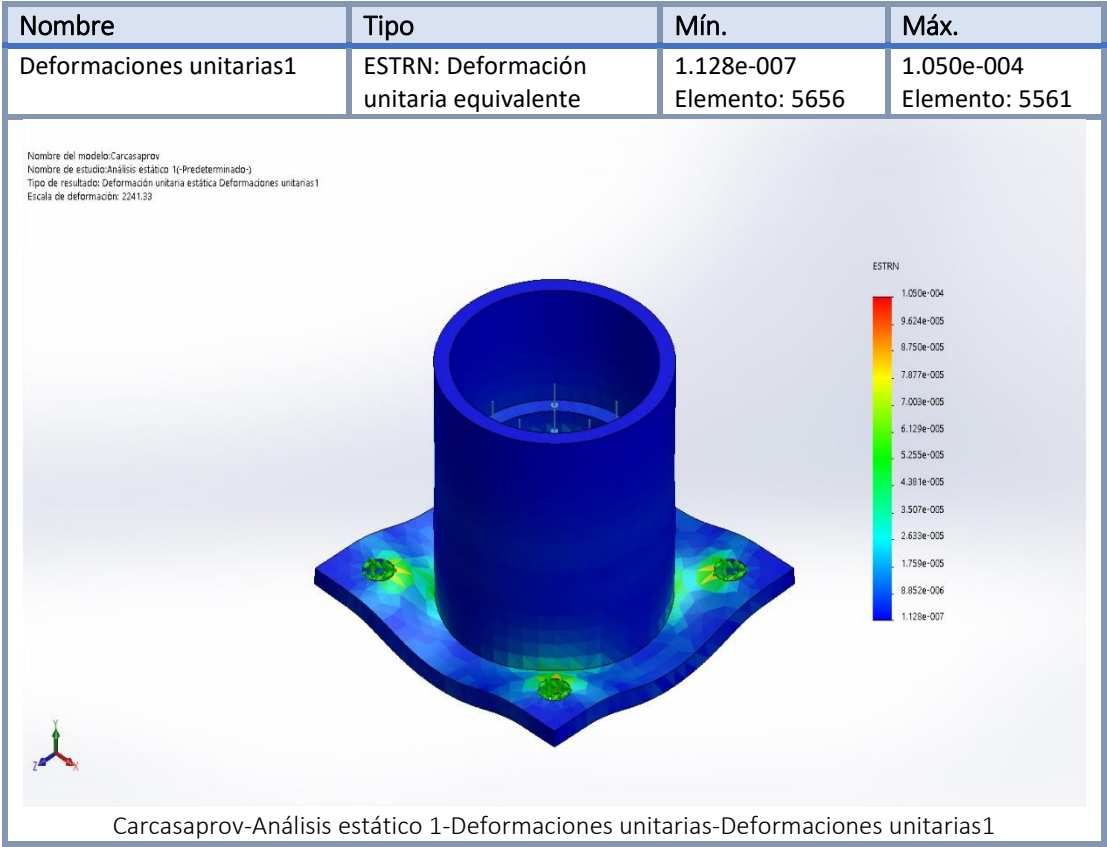


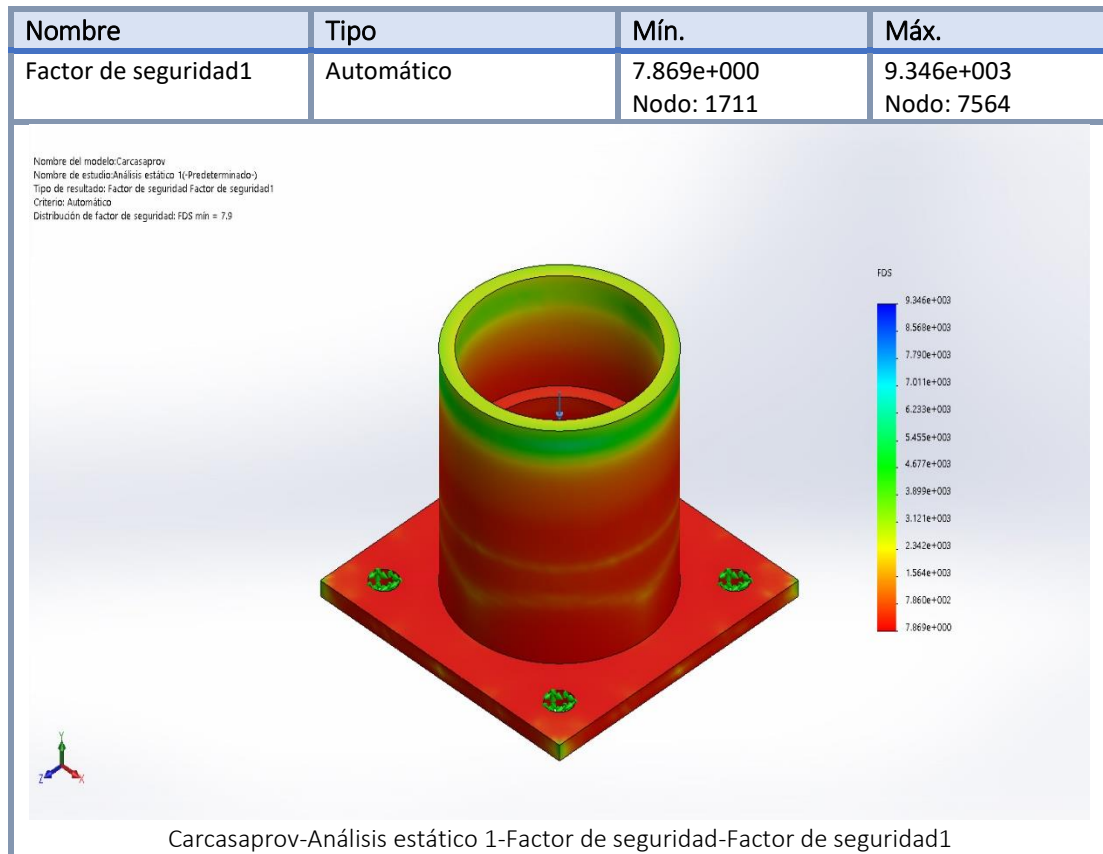


Resultados del estudio









## Conclusión

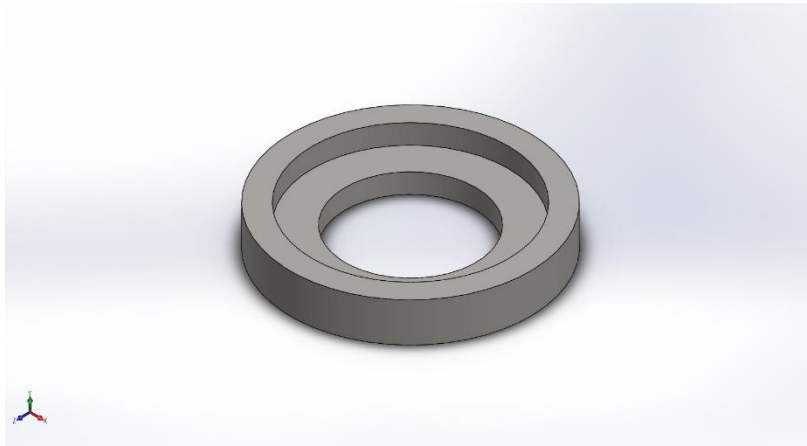
El valor de la mayor tensión obtenida es de **34,95 MPa**, valor muy inferior al límite elástico del material (275 MPa). Esto significará que el material se deformará elásticamente, por lo que las **deformaciones** que se produzcan **no** serán **permanentes**. No existirá riesgo de rotura.

En cuanto a los desplazamientos, se observa que máximo valor es de 0.0093 mm el cual se puede suponer despreciable.

El factor de seguridad mínimo es **7,87**.

Se concluye que el **diseño** del componente es **válido**.

## 12.4. Análisis Soporte de rodamiento



**Diseñador:** Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

**Nombre de estudio:** Análisis Soporte de rodamiento

**Tipo de análisis:** Análisis estático

**Referencia componente:** 06018-03-02

### Descripción

En el siguiente informe se expone el análisis estático para comprobar la resistencia de la pieza “Soporte de Rodamiento”.

Se analizará la carga originada por el peso de los cuatro usuarios, así como el peso de los componentes que se encuentren por encima y transmitan su peso a esta pieza.

Una vez analizados los resultados se concluirá si el diseño componente es válido.

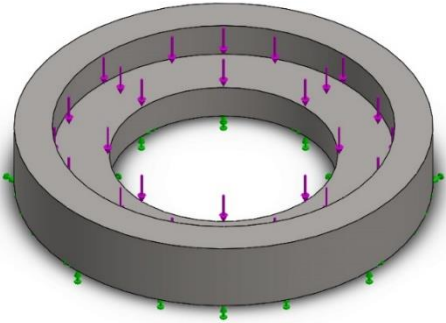
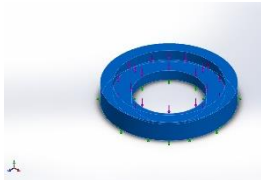
## Suposiciones

La carga introducida para el ensayo es de 6250 N. Se ha calculado como el peso de cuatro usuarios de 100 kg, por dos coeficientes de mayoración de 1.25, debido a uso indebido y peso de otros elementos.

La carga actuará en la cara sobre la que se apoya el rodamiento pues es esta la que sufrirá la carga transmitida.

La sujeción se realizará en la cara sobre la que se apoya el soporte a la carcasa.

## Información de modelo

			
<p>Nombre del modelo: soporte Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0.706858 kg Volumen:8.83573e-005 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:6.92721 N	C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\sistemagiros\soporte.sldprt May 26 17:08:43 2018

## Propiedades de estudio

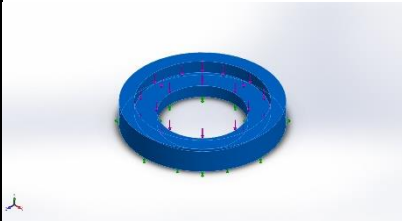
<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 1
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\sistemagi)

## Unidades

<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

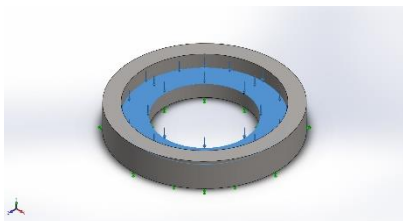


## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>AISI 304</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b> Límite elástico: <b>2.06807e+008 N/m<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>5.17017e+008 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>1.9e+011 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.29</b> Densidad: <b>8000 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>7.5e+010 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de dilatación térmica: <b>1.8e-005 /Kelvin</b>	<b>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(soporte)</b>

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades:	1 cara(s)	
		Tipo:	Geometría fija	
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.0018408	6249.99	-9.26107e-005	6249.99
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: <b>1 cara(s)</b> Tipo: <b>Aplicar fuerza normal</b> Valor: <b>6250 N</b>

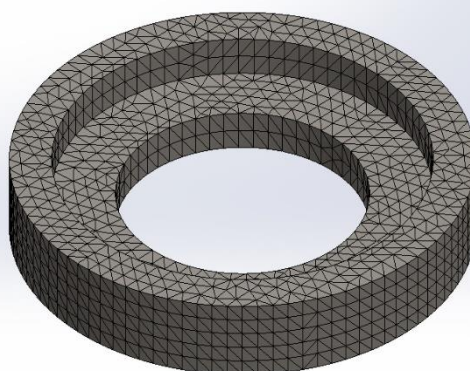
## Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	3.61998 mm
<b>Tolerancia</b>	0.180999 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

## Información de malla – Detalles

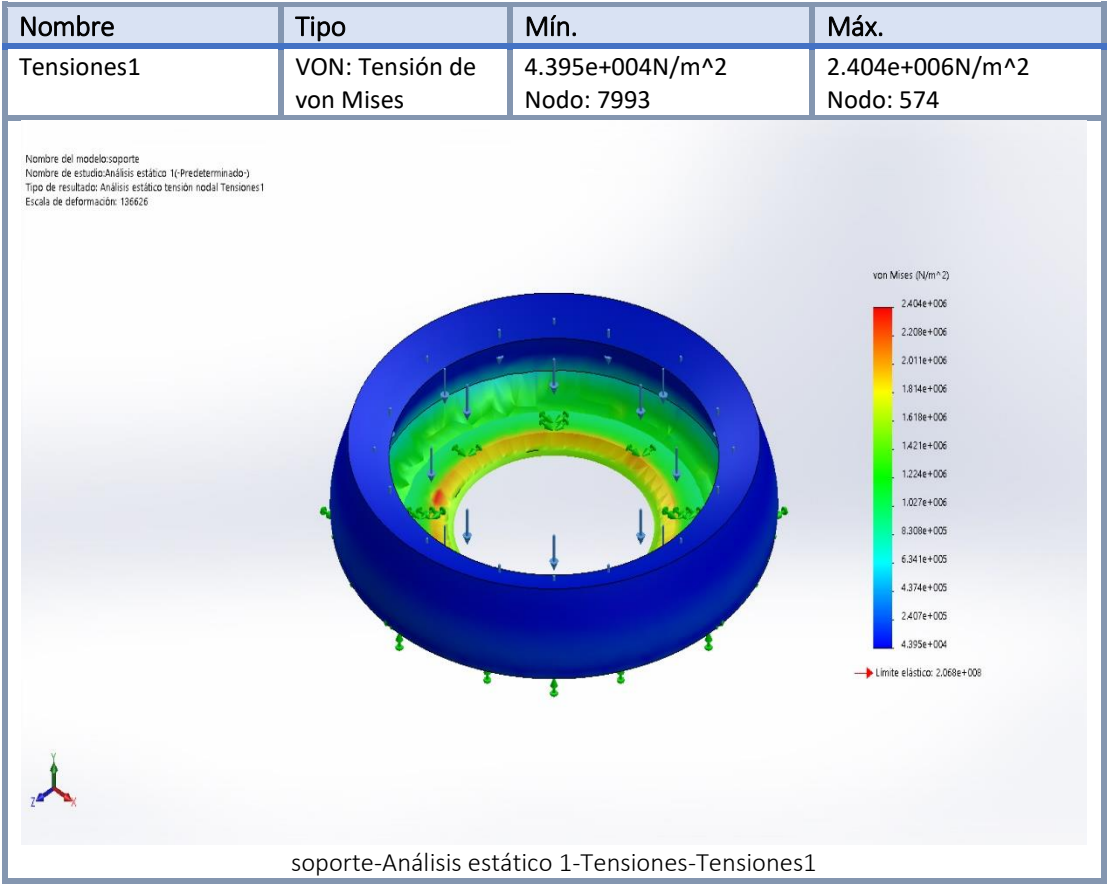
<b>Número total de nodos</b>	21032
<b>Número total de elementos</b>	12982
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	4.032
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	99.9
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:02
<b>Nombre de computadora:</b>	

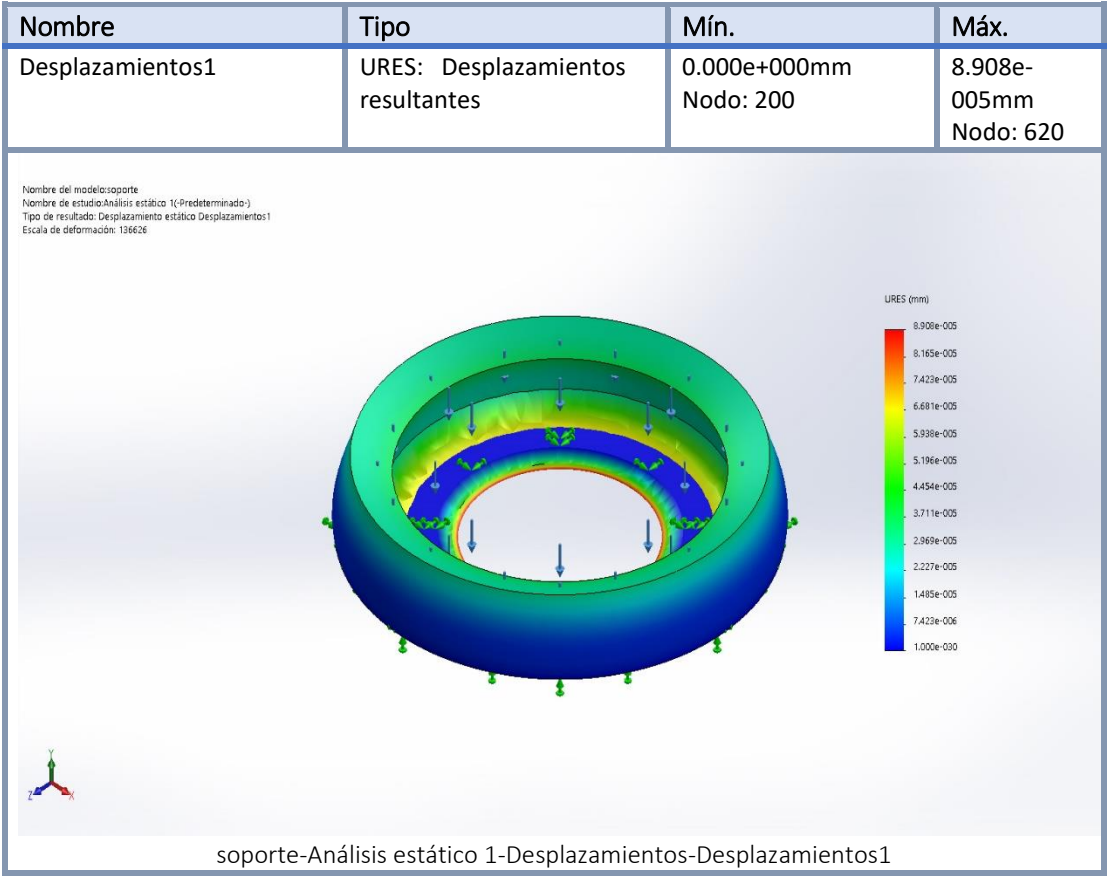
Nombre del modelo: soporte  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida

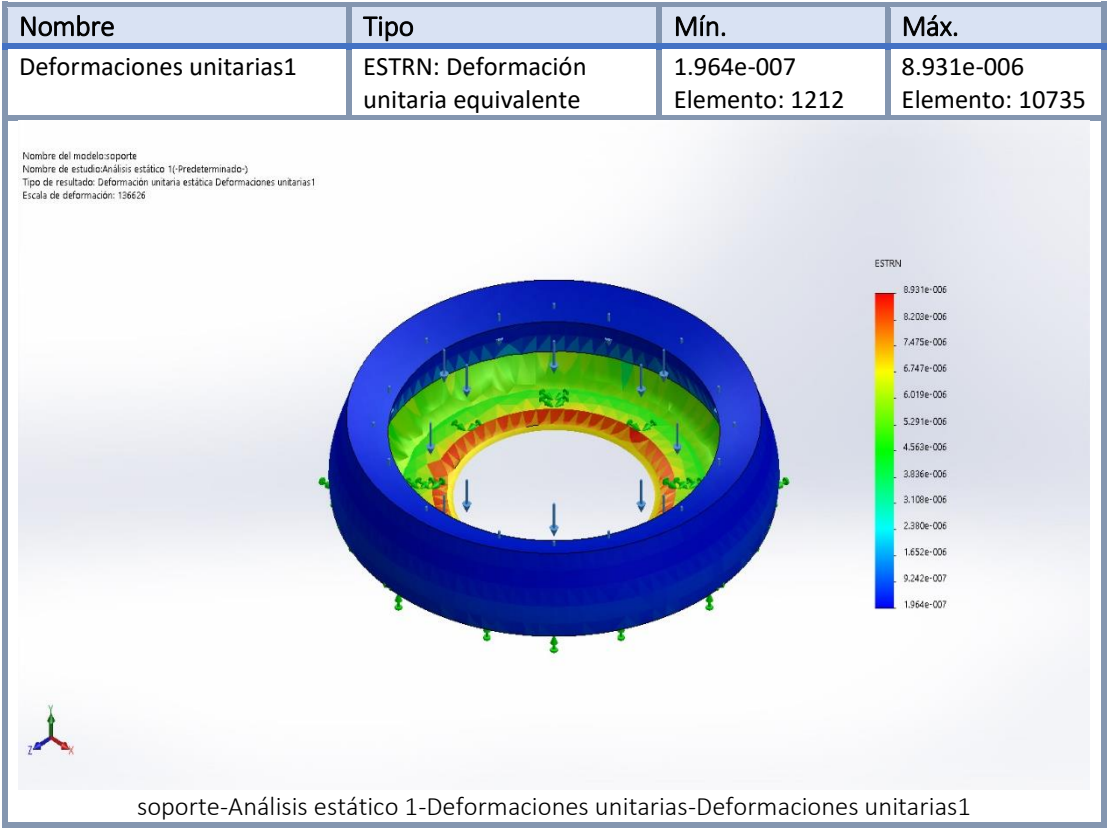


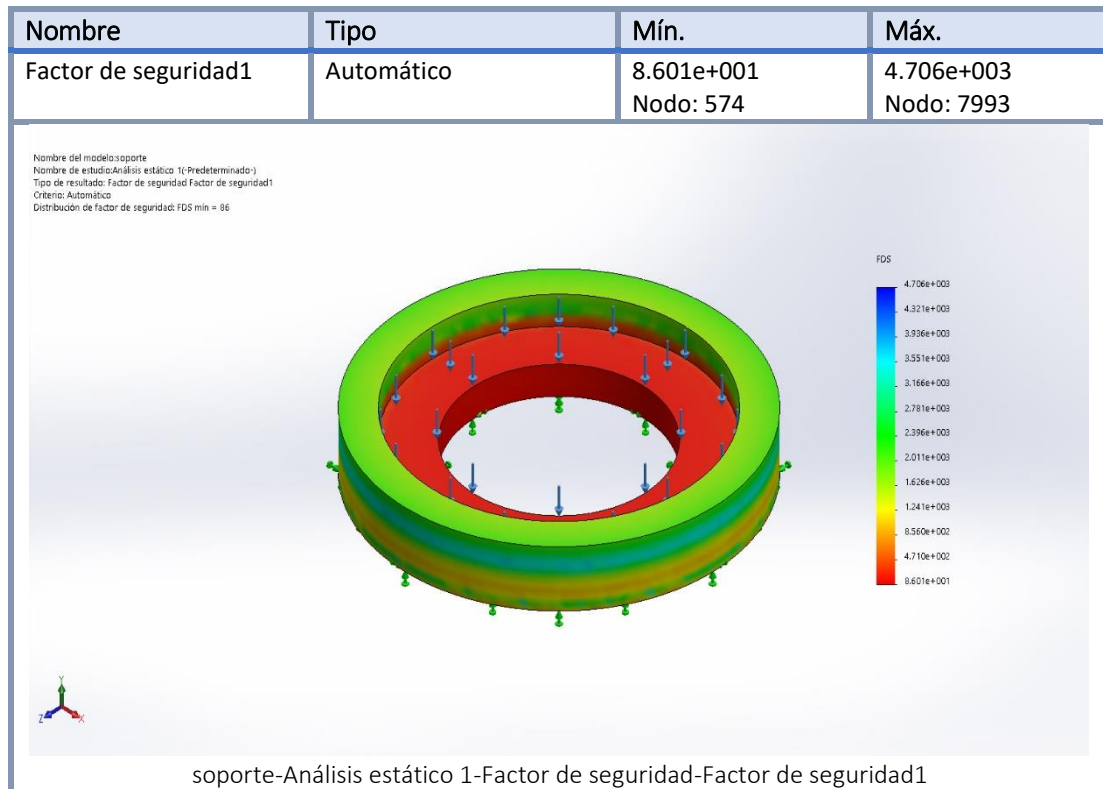


Resultados del estudio









## Conclusión

El valor de la mayor tensión obtenida es de **2,4 MPa**, valor muy inferior al límite elástico del material (207 MPa). Esto significará que el material se deformará elásticamente, por lo que las **deformaciones** que se produzcan **no** serán **permanentes**. No existirá riesgo de rotura.

El mayor desplazamiento obtenido es despreciable.

El factor de seguridad mínimo es **86**.

El **diseño** para el soporte del rodamiento queda **validado**.

## 12.5. Análisis Base Giratoria



**Diseñador:** Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

**Nombre de estudio:** Análisis estático Base Giratoria

**Tipo de análisis:** Análisis estático

**Referencia componente:** 06018-03-03

### Descripción

En esta simulación se pretende comprobar la resistencia del componente “*Base giratoria*” el cual deberá soportar el peso de los usuarios, así como de los componentes que deberá sustentar.

Una vez realizado el ensayo se decidirá si el diseño realizado es válido.

## Suposiciones

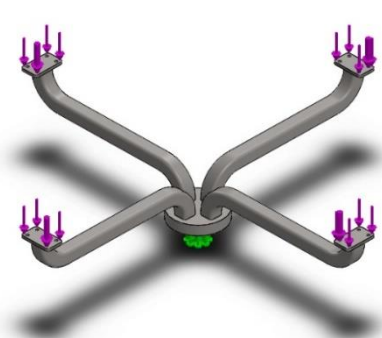
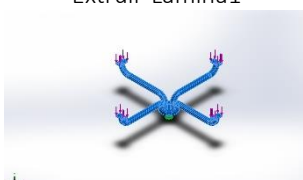
La carga introducida para el presente análisis será de 1250 N correspondiente a un usuario con un peso de 100 kg por un coeficiente de mayoración de 1,25.

La carga actuará en las cuatro caras en las que se atornillan los asientos y las plataformas.

La sujeción se realizará en la cara que está en contacto con el rodamiento, pues será esta la que transmita las cargas que el rodamiento debe soportar.

La unión entre las barras y la base central se supone soldada.

## Información de modelo

			
<p>Nombre del modelo: BASEENSAYO4 Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Extruir-Lámina1 	Sólido	Masa:45.6411 kg Volumen:0.00585 143 m^3 Densidad:7800 kg/m^3 Peso:447.283 N	C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\BASE ENSAYOS\BASE ENSAYO 4_cambiararectangularhueca\BASEENSAYO4.SLDPRT May 25 00:11:32 2018




## Propiedades de estudio

<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 3
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\BASE ENSAYOS\BASE ENSAYO 4_cambiararectangularhueca)

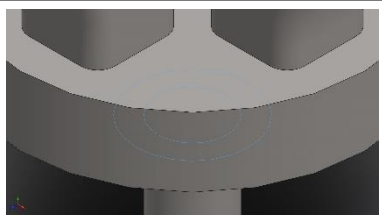
## Unidades

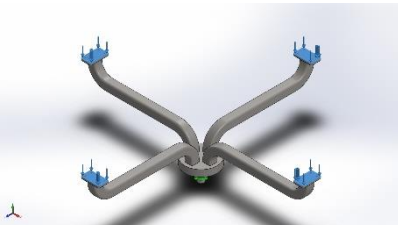
<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>1.0044 (S275JR)</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b> Límite elástico: <b>2.75e+008 N/m<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>4.1e+008 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.28</b> Densidad: <b>7800 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de dilatación térmica: <b>1.1e-005 /Kelvin</b>	<b>Sólido 1(Extruir-Lámina1)(BASEE NSAYO4)</b>

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades:	1 cara(s)		
		Tipo:	Geometría fija		
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	0.233528	5000.52	-0.0027256	5000.52	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades:	4 cara(s)		
		Tipo:	Aplicar fuerza normal		
		Valor:	1250 N		

## Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	16.7831 mm
<b>Tolerancia</b>	0.839154 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

## Información de malla – Detalles

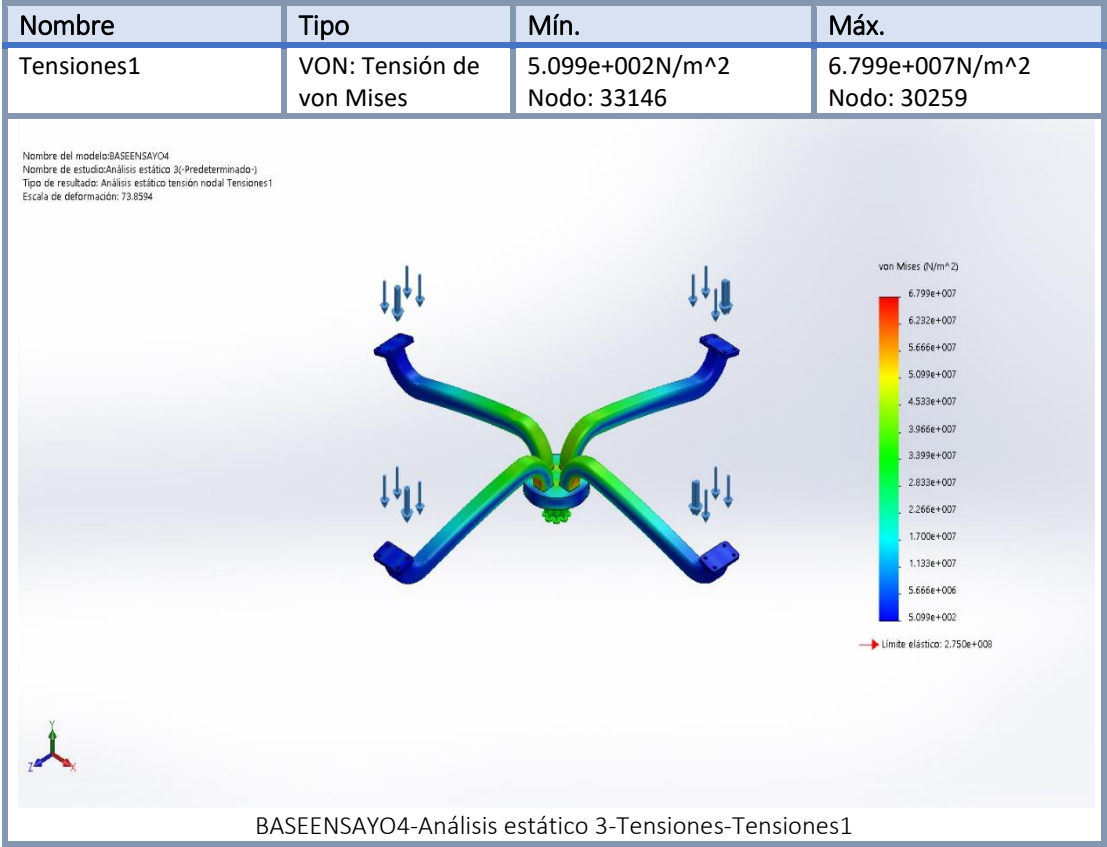
<b>Número total de nodos</b>	33552
<b>Número total de elementos</b>	17523
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	18.507
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	86.5
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0.165
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:06
<b>Nombre de computadora:</b>	

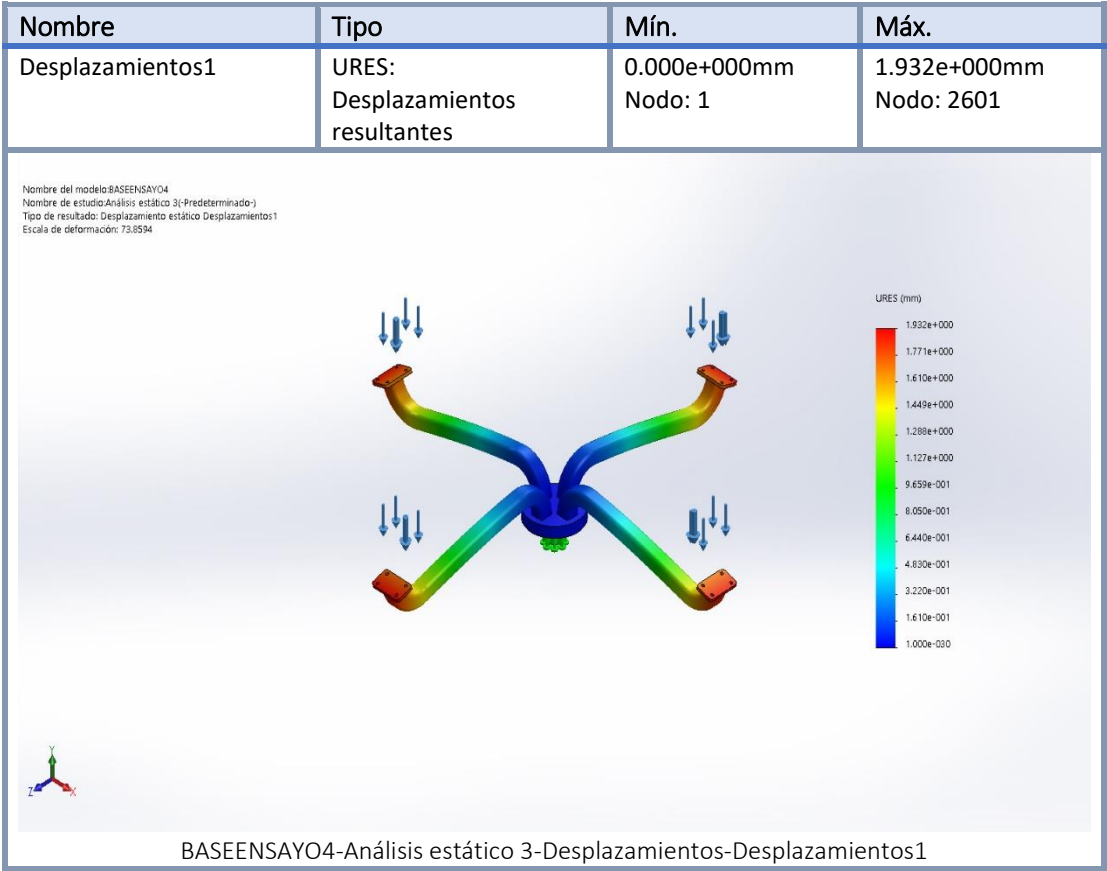
Nombre del modelo: BASEENSAVO4  
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida

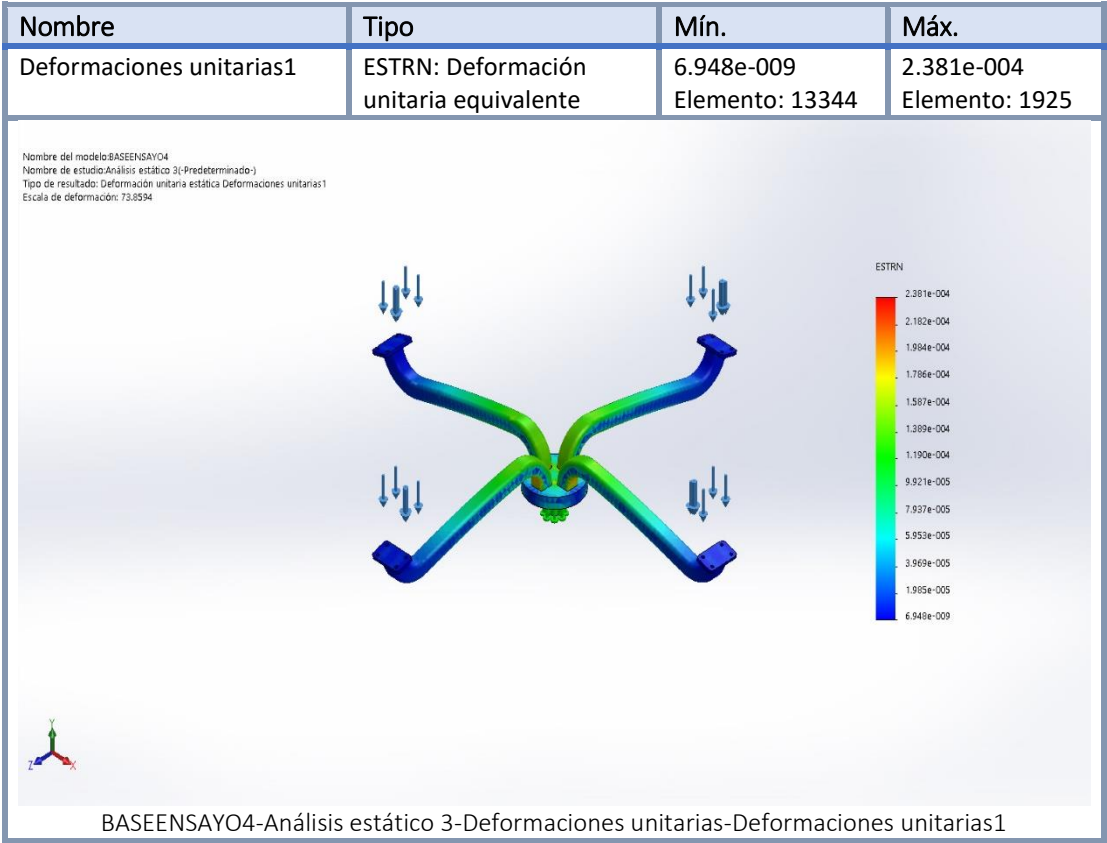


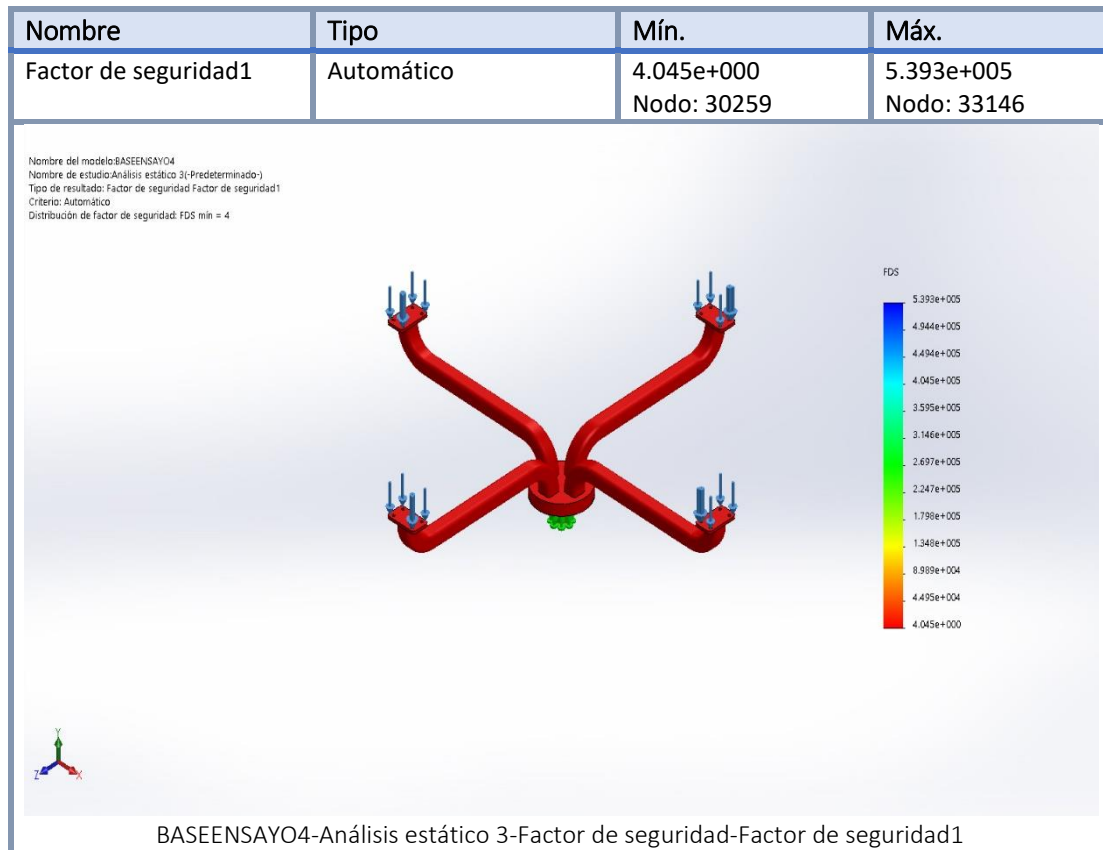


Resultados del estudio









## Conclusión

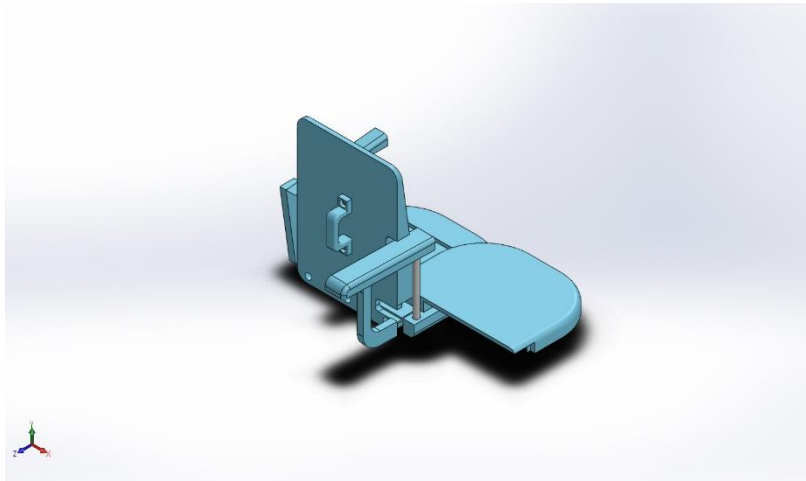
El valor de la mayor tensión obtenida es de **68 MPa**, valor muy inferior al límite elástico del material (275 MPa). Esto significará que el material se deformará elásticamente, por lo que las **deformaciones** que se produzcan **no** serán **permanentes**. No existirá riesgo de rotura.

El mayor desplazamiento obtenido ha sido de 1,9 mm, valor suficientemente pequeño para no suponer un riesgo para la integridad del componente ni del usuario.

Se puede observar que el **factor de seguridad mínimo** del componente es de **4.04**, valor más que suficiente.

Se concluye que el **diseño** puede ser **validado**.

## 12.6. Análisis para Diseño Inicial del Asiento



**Diseñador:** Miguel Ángel Iracheta Rodríguez

**Nombre de estudio:** Análisis para Diseño Inicial del Asiento

**Tipo de análisis:** Análisis estático

**Referencia componente:** 06018-02

### Descripción

En este análisis estático se pretende comprobar la resistencia de los diferentes componentes que forman el conjunto del asiento.

Para ello, se introducirá la carga correspondiente al peso del usuario sobre la superficie del componente móvil del asiento.

Una vez terminado el análisis se decidirá si el diseño puede ser validado o no.



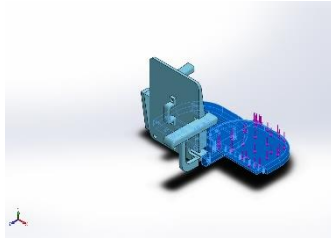

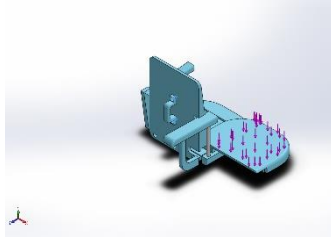
## Propiedades de estudio

<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 1
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\Asiento)

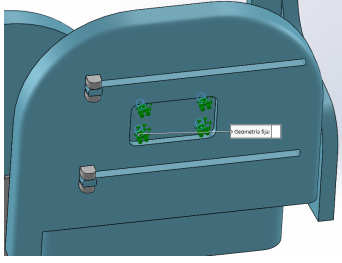
## Unidades

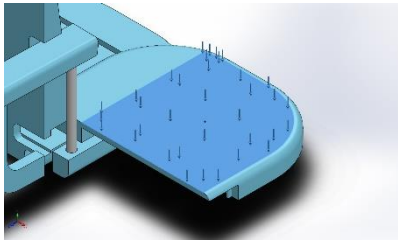
<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>ABS</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b></p> <p>Límite de tracción: <b>3e+007 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>2e+009 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.394</b></p> <p>Densidad: <b>1020 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>3.189e+008 N/m<sup>2</sup></b></p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir3)(Asiento1-1), Sólido 1(Línea de partición1)(Asiento2-1), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Eje_reposabrazo-1), Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Pasador-1), Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Pasador-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Tope-3), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Tope-4)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: <b>PE Alta densidad</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b></p> <p>Límite de tracción: <b>2.21e+007 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>1.07e+009 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.4101</b></p> <p>Densidad: <b>952 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>3.772e+008 N/m<sup>2</sup></b></p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Reposabrazos-1), Sólido 2(Saliente-Extruir4)(Reposabrazos-1), Sólido 3(Redondeo3)(Reposabrazos-1), Sólido 1(Saliente-Extruir3)(Reposabrazos_movil-1), Sólido 1(Cortar-Extruir7)(Respaldo-1), Sólido 1(Simetría1)(asa-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: <b>AISI 1020 Acero laminado en frío</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Límite elástico: <b>3.5e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>4.2e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>2.05e+011 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.29</b></p> <p>Densidad: <b>7870 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>8e+010 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: <b>1.17e-005 /Kelvin</b></p>	<p>Sólido 1(Hex)(socket button head screw_iso-11), Sólido 1(Hex)(socket button head screw_iso-9)</p>

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 4 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija

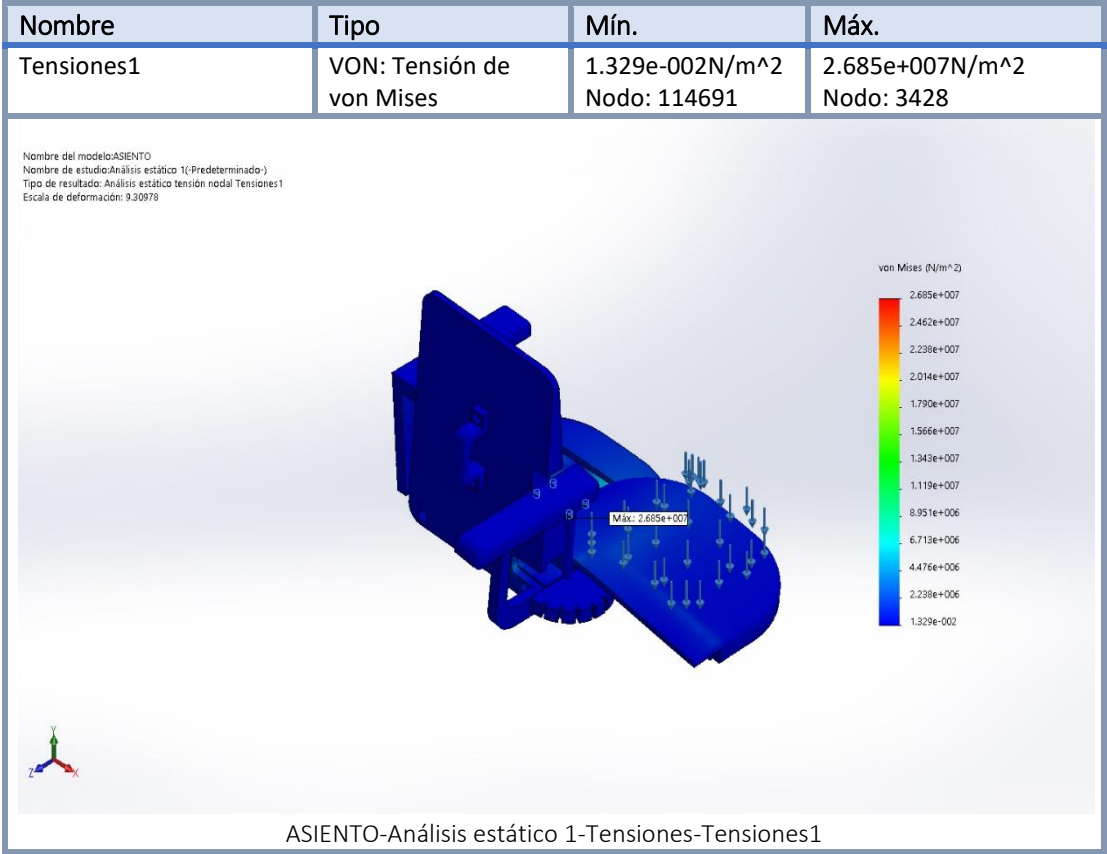
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 1250 N

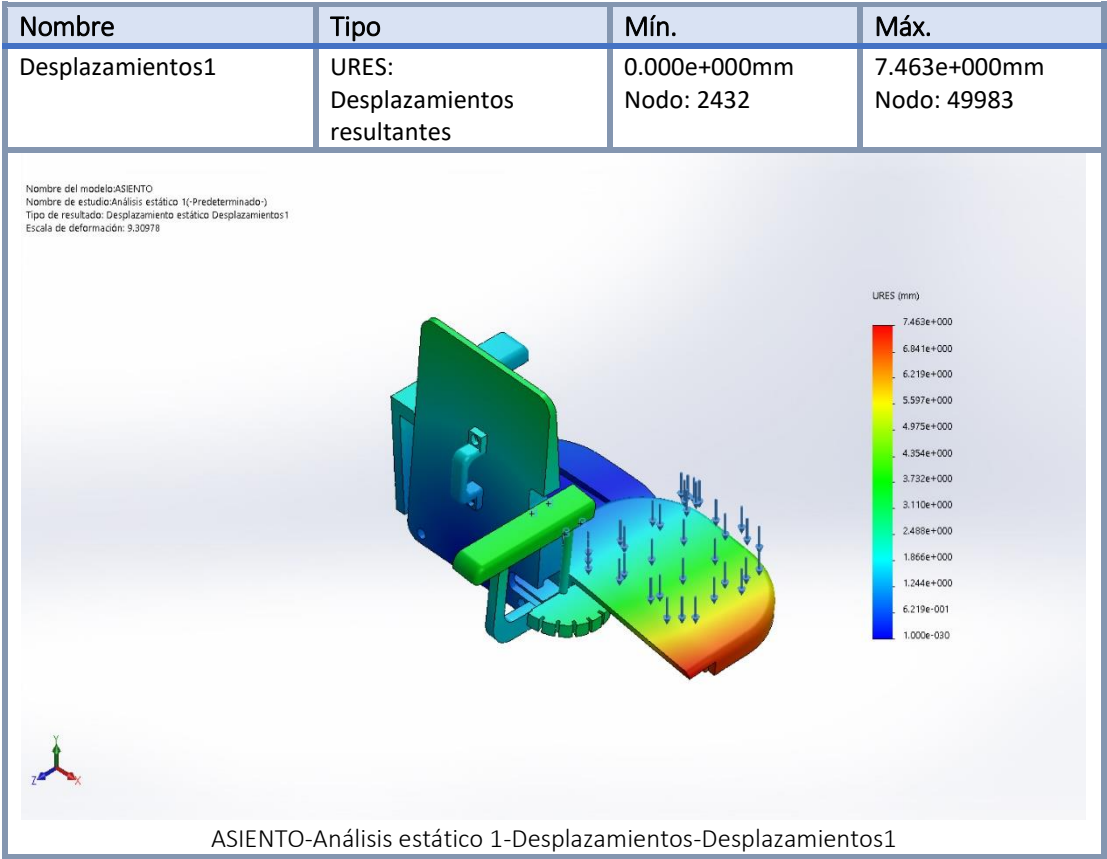
## Información de malla

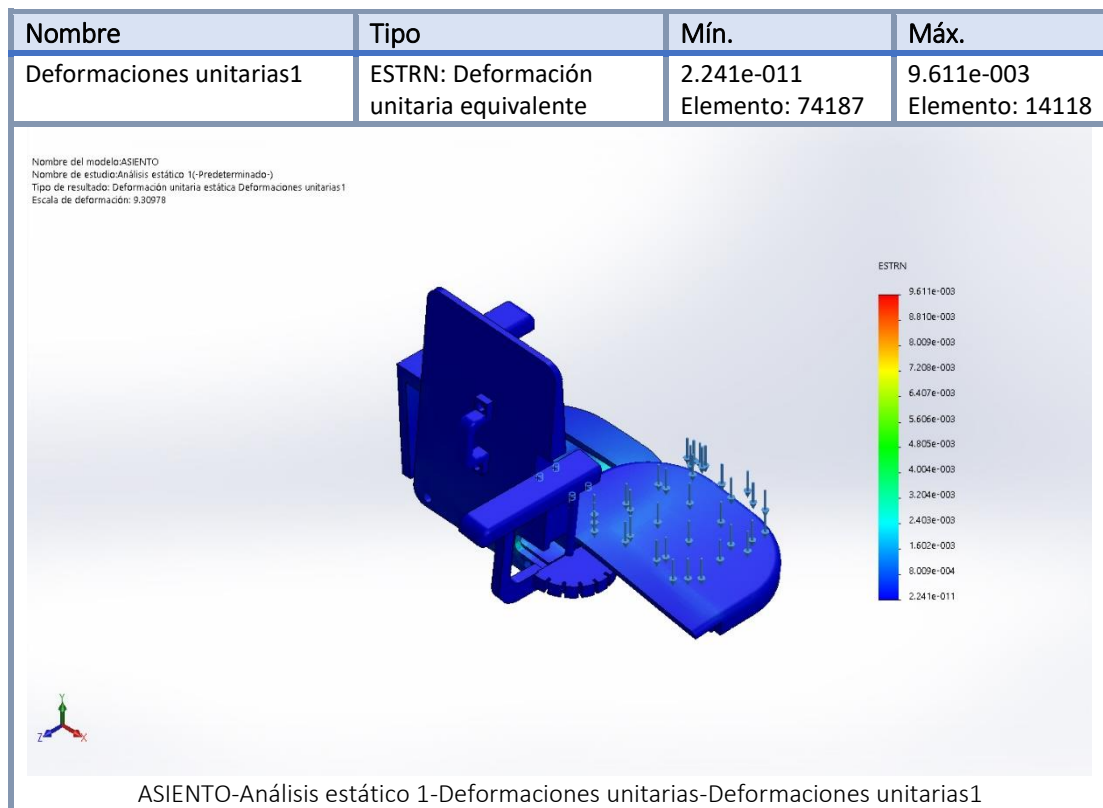
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	29 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	10.1409 mm
<b>Tolerancia</b>	0.507044 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden



Resultados del estudio







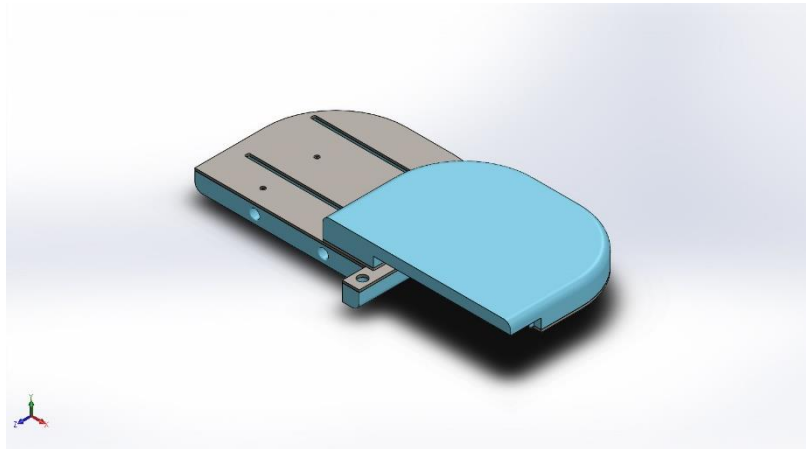
## Conclusión

El valor de la mayor tensión de Von Mises obtenida es de **26,8 MPa**, comparándolo con el valor de la tensión de fluencia del ABS (42 MPa) se observa que es muy inferior. Esto significará que el material podrá deformarse elásticamente pero no de manera permanente. Además esta tensión no supera los valores de resistencia a compresión, flexión ni tracción del material.

En cuanto a los desplazamientos, el máximo valor obtenido ha sido de **7 mm**. Este desplazamiento deformará el material, y aunque **no llegará a rotura**, el **componente no** podrá ser **funcional**. Por esta razón el proyectista deberá proponer alguna solución para reducir este desplazamiento.

Se concluye que el **diseño no puede ser validado**.

## 12.7. Análisis para Diseño Final del Asiento



**Diseñador:** Miguel Angel Iracheta Rodríguez

**Nombre de estudio:** Análisis para Diseño Final del asiento

**Tipo de análisis:** Análisis estático

**Referencia componente:** 06018-02

### Descripción

El siguiente análisis estático pretende validar la modificación realizada al conjunto del asiento. Esta modificación ha sido convenientemente explicada en la memoria.

Las condiciones de este ensayo son exactamente las mismas que las explicadas en el anterior informe.

Se concluirá decidiendo si el diseño puede ser validado.

## Suposiciones

La carga introducida para el análisis será de 1250 N correspondiente a un usuario con un peso de 100 kg por un coeficiente de mayoración de 1,25.

La carga actuará sobre una parte de la cara superior del componente móvil, para ello se realizó una línea de partición de la superficie.

Todas las uniones entre componentes se suponen rígidas.

Tan solo intervendrán en el análisis los componentes modificados ya que son los que presentaban mayores problemas de deformación en el ensayo anterior.

## Propiedades de estudio

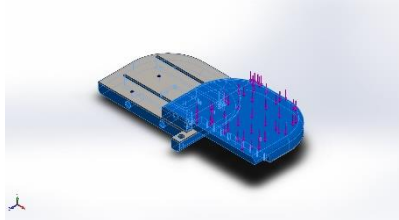
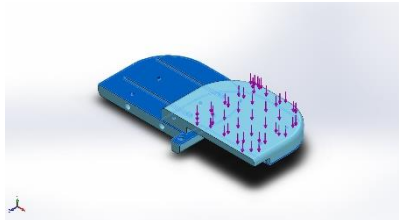
<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 2
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Miguel\OneDrive\TFG\SOLIDWORKS\Asiento\MOD)



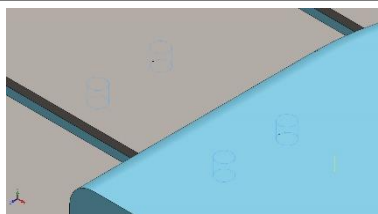
## Unidades

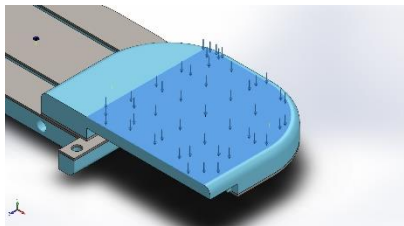
<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>ABS</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b> Límite de tracción: <b>3e+007 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>2e+009 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.394</b> Densidad: <b>1020 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>3.189e+008 N/m<sup>2</sup></b>	<b>Sólido 1(Cortar-Extruir7)(MODAsiento1-1),</b> <b>Sólido 1(Cortar-Extruir5)(MODAsiento2-1),</b> <b>Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Pasador-1),</b> <b>Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Pasador-2),</b> <b>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Tope-1),</b> <b>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Tope-2)</b>
Datos de curva:N/A		
	Nombre: <b>1.0044 (S275JR)</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b> Límite elástico: <b>2.75e+008 N/m<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>4.1e+008 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.28</b> Densidad: <b>7800 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de dilatación térmica: <b>1.1e-005 /Kelvin</b>	<b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(chapa1-1),</b> <b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(chapa2-1)</b>

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Fijo-1		Entidades:	4 cara(s)			
		Tipo:	Geometría fija			
Fuerzas resultantes						
Componentes	X	Y	Z	Resultante		
Fuerza de reacción(N)	-0.00019455	1250	-2.86102e-006	1250		
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0		

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades:	1 cara(s)	
		Tipo:	Aplicar fuerza normal	
		Valor:	1250 N	

## Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	16 Puntos
Tamaño de elementos	11.455 mm
Tolerancia	0.57275 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

## Información de malla – Detalles

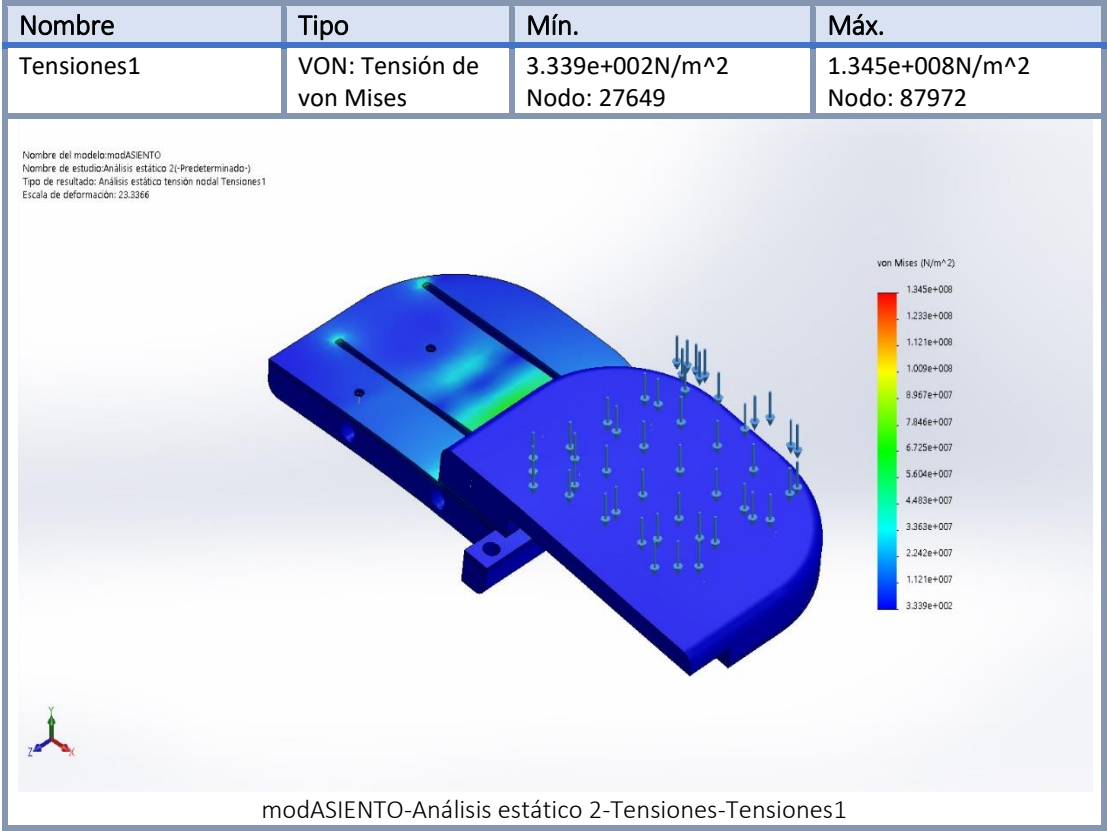
<b>Número total de nodos</b>	94400
<b>Número total de elementos</b>	62410
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	24.496
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	94.3
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0.0865
<b>% de elementos distorsionados (Jacobian)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:11
<b>Nombre de computadora:</b>	

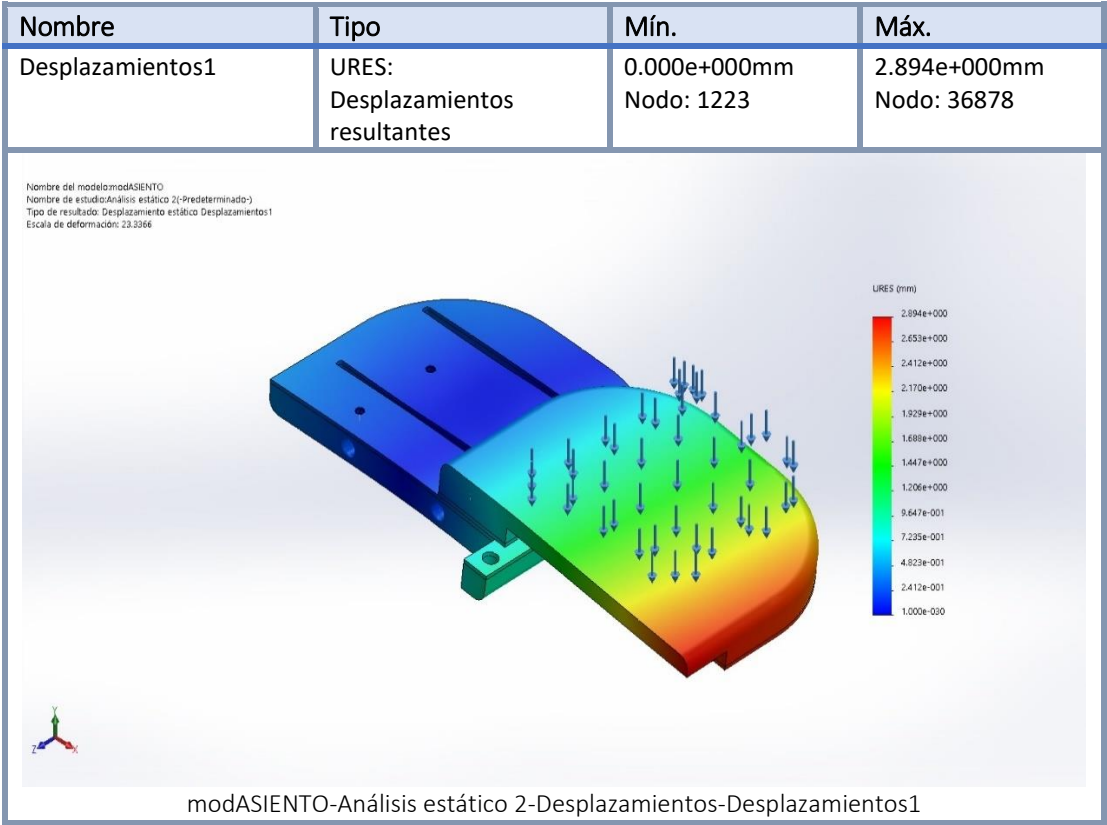
Nombre del modelo: modASIENTO  
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (Predeterminado)  
 Tipo de malla: Malla sólida

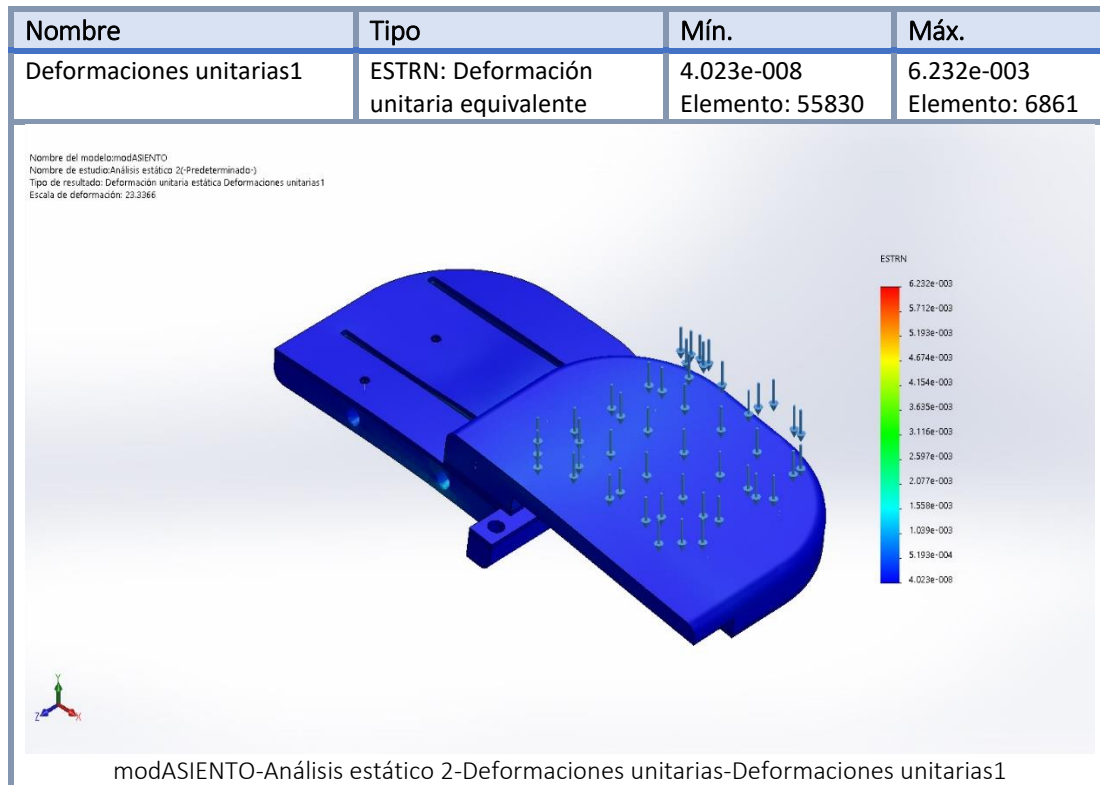




Resultados del estudio







## Conclusión

Como se observa en los resultados obtenidos el mayor valor para la tensión de Von Mises se da en uno de los nuevos componentes introducidos, en concreto en la Chapa 2. La mayor tensión es de **134,5 MPa**, valor inferior al límite elástico del acero S-275-JR seleccionado (275 MPa). Las tensiones en los componentes de material polimérico (ABS) siguen siendo menores que la tensión de fluencia de éste.

El objetivo de rediseñar este componente era disminuir los desplazamientos del elemento crítico (parte móvil) respecto del anterior ensayo. El desplazamiento obtenido en este análisis ha sido de **2,8 mm** mientras que el anterior fue de 7,4 mm. Por lo tanto, se ha conseguido **reducir el desplazamiento** en un **58,6%**.

Se concluye que el **diseño queda validado**.

## 13. CONCLUSIONES Y CRÍTICA

Para concluir el proyecto realizado como Trabajo Fin de Grado se realizará una crítica valorando si se han alcanzado los objetivos propuestos al inicio de este.

El objetivo de este proyecto era diseñar un carrusel inclusivo que favoreciera la inclusión social de niños discapacitados y les permitiera jugar conjuntamente con otros niños. Para alcanzar este objetivo se analizaron los **Principios del Diseño Universal** y se intentaron aplicar en cada una de las tomas de decisiones realizadas durante el trabajo. Se analizará cada uno de estos principios y se valorará si el diseño realizado ha conseguido su objetivo.

1. **Uso equitativo:** El funcionamiento del carrusel es exactamente el mismo si lo utiliza una persona discapacitada en el asiento o si lo utiliza una persona no discapacitada desde la plataforma. Además, el estética del carrusel no es discriminatoria ante ningún tipo de persona, tiene una forma de columpio convencional, pero a su vez ayuda a personas discapacitadas durante su funcionamiento.
2. **Uso flexible:** El conjunto del asiento es válido tanto para personas con algún tipo de discapacidad como para personas sin ellas. Se puede asegurar que se ha cumplido el principio de uso flexible.
3. **Uso simple e intuitivo:** El diseño del carrusel asegura una fácil comprensión de su funcionamiento. Por un lado se basa en una simple rotación respecto de un eje y por otro lado, el sistema de ayuda a la discapacidad del asiento se acciona con un leve movimiento de la parte móvil.
4. **Información perceptible:** Para cumplir este principio se han introducido colores contrastados para tener en cuenta aquellas personas con algún tipo de discapacidad visual. Sin embargo, se podrían haber diseñado diferentes pictogramas que informaran sobre la utilización del carrusel o bien de los juegos inclusivos.
5. **Tolerancia al error:** No existe ningún componente que suponga un riesgo crítico debido a un mal uso de el. Sin embargo, hubiera sido interesante el diseño de un sistema de bloqueo que detuviese el giro del carrusel en el momento que una persona quiera incorporarse al asiento de transferencia. De esta manera se habría cumplido este principio de manera rigurosa y además el uso del carrusel sería todavía más seguro.
6. **Bajo esfuerzo físico:** El diseño del sistema de giro con rodamiento permite accionar el columpio con una fuerza de impulso leve, de esta manera un niño subido en el asiento será capaz de impulsarse y accionar el columpio.
7. **Tamaño y espacio para el acceso y uso:** El espacio dimensionado del área recreativa no da lugar a dificultades de acceso para personas en silla de ruedas. Además las alturas de los asientos y las plataformas están diseñadas para el correcto acceso de todo tipo de usuarios.

Tras este análisis se puede concluir que el diseño del carrusel inclusivo ha sido exitoso en base a los Principios del Diseño Universal. Sin embargo, existen cuestiones que podrían mejorarse como la incorporación de un sistema de bloqueo y el uso de pictogramas en el área recreativa.



## 14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Edward y J. Maisel, *Universal Design: Creating Inclusive Environments*, 2012.
- [2] «Artículo sobre Diseño Industrial y Diseño Universal,» ( *Cultura del proyecto - Blog de Diseño Industrial* ).
- [3] NC State University, Center for Universal Design, 1997.
- [4] H. H. K. B. J. Lidwell, *Universal Principles of Design*, 2003.
- [5] AENOR, «UNE – EN 1176 – 2 Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para columpios,» 2018.
- [6] AENOR, «UNE – EN 1176 – 1 Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo,» 2018.
- [7] AENOR, «UNE – EN 1177 Revestimientos de las superficies de las áreas de juego absorbedores de impactos,» 2009.
- [8] AENOR, «UNE – EN 1176 – 5 Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para carruseles,» 2009.
- [9] Universitat de Barcelona, «<http://www.ub.edu/cmematerials/es>,» [En línea].
- [10] Nikelcrom,  
«<http://www.nikelcrom.com/pintura-en-polvo-termoendurecible/>,» [En línea].
- [11] prontuarios.info, «<http://prontuarios.info/materiales/acero>,» [En línea].
- [12] Gobierno de España. Ministerio de Fomento., «<https://www.fomento.gob.es>,» [En línea].
- [13] «Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación (DBSE – AE)».
- [14] AENOR, «UNE-EN ISO 527-1:2012 Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción».
- [15] SKF, «<http://www.skf.com/es/index.html>,» [En línea].





- [16] Good Fellow, «<http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>,» [En línea].
- [17] American Academy of Ophthalmology, «<https://www.aao.org/salud-ocular/enfermedades/daltonismo>,» [En línea].
- [18] FIVE,  
«<http://www.five.es/basedatos/Visualizador/Base13/index.htm?http://www.five.es/basedatos/Visualizador/Base13/tip1/cia0/PEAP.htm>,» [En línea].